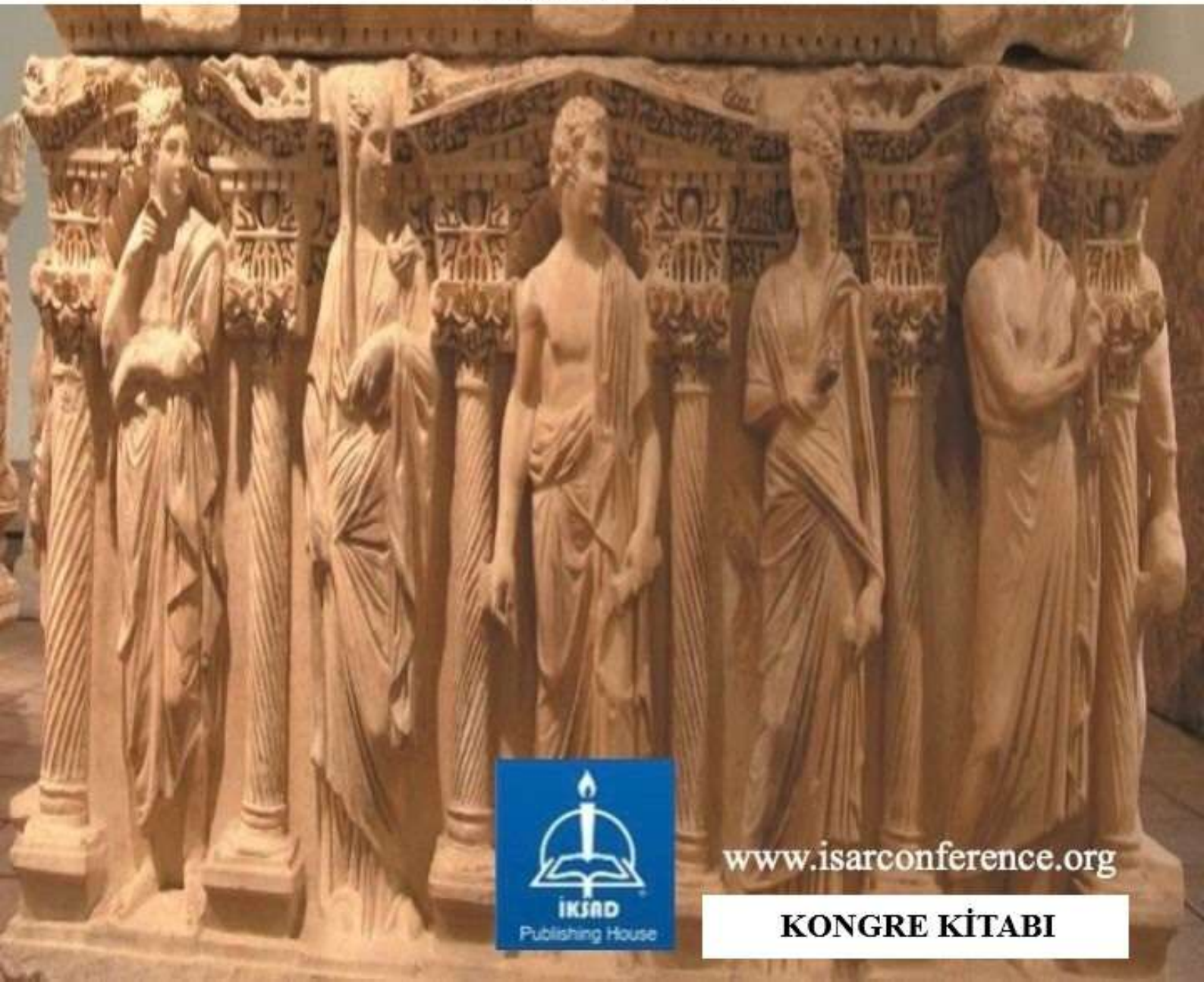
11.INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

06-07 NOVEMBER 2026 - KONYA

EDİTÖRLER;
Prof.Dr.Okan SARIGÖZ
Prof.Dr.Sibel KÜÇÜKOĞLU
Prof.Dr.Seyfi ŞEVİK



İKSAD Publishing House

www.isarconference.org

KONGRE KİTABI

INDEX

XLIV		
CONGRES ID		**II-V**
PROGRAM		**VI-XXXVII**
GALLERY		**XXXVIII-XLII**
ACADEMIC INCENTIVE		**XLIII**
NOTIFICATIONS		**XLIV-LVI**

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

11th INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

DATE AND PLACE

06-07 NOVEMBER 2026 KONYA PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CONGRE COORDINATOR

Beyza KUŞKIRAN

EDITOR

Prof.Dr.Okan SARIGÖZ
Prof.Dr.Sibel KÜÇÜKOĞLU
Prof.Dr.Seyfi ŞEVİK

ORGANIZING COMMITTEE

Prof.Dr.Hatice TAMBAĞ
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN
Prof. Dr. Tolga ULUSOY
Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Assoc. Prof. Dr. Gülbeyaz BARAN DURMAZ
Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ
Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU
Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI
Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ
Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ
Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK
Assoc. Prof. Dr. Serap Ünal
Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI
Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN
Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU
Dr. Aziz İLGAZİ
Dr. Bahar TÜRKMENOĞLU
Dr. Laleş USLU AZARAK
Dr. Mine KIRKYOL
Dr. Sevil ÖZCAN
Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU
Dr. Şengül ŞENTÜRK
Dr. Rana BAYTİN ALACI

ISBN: '978-625-378-786-8'

KİTAP YAYIN TARİHİ: 18.11.2026

"COMPLIANCE WITH PUBLICATION ETHICS IS THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE AUTHORS; ACCORDINGLY, THEY BEAR BOTH ETHICAL AND LEGAL ACCOUNTABILITY"

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE

Prof.Dr.EMİNE NAS
Selçuk University

Prof. Dr. Jaın SADHNA
Unıversıty Of Delhı

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Mehmet ŞAHIN
Gaziantep University

Prof. Dr. Morakeng Edward
Kenneth LEBAKA University Of Zululand

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
Cumhuriyet University

Prof. Dr. Manole COJOCARU
Titu Maiorescu University

Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ
Osmaniye Korkut Ata University

Prof. Dr. Mustafa METE
Gaziantep University

Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ
Selçuk University

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Sivas Cumhuriyet University

Prof. Dr. Nurdan KALAYCI
Gazi University

Prof. Dr. Orhan ZEYBEK
Balıkesir University

Prof. Dr. Sancar BULUT
Kayseri University

Prof.Dr. Sedat İLHAN
Dicle University

Prof. Dr. Selahattin YAVUZ
Erzincan Binali Yıldırım University

Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI
Atatürk University

Prof.Dr.Vehbi GÜNEŞ
Selçuk University

Prof.Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University

Prof. Dr. Zharkynbıke SULEIMENOVA
Kazakh National Women's Pedagogical University

Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK
Fırat University

Assoc. Prof. Dr.Ahmet AYDIN
Ege University

Assoc. Prof. Dr. Armel MBON
Marien Ngouabi University

Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ
Nuh Naci Yazgan University

Assoc. Prof. Dr. Azimbaeva GULBAYRA
Kazakh National Women's Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Oqtay QULİYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON
Shah Abdul Latif University

Assoc. Prof. Soufiane Ziani
Mohammed 1st University

Assoc. Prof. Dr. Syed Ali
Raza NAQVI Government College University Faisalabad

Assoc. Prof. Dr. Victoria POSTOLACHE
Alecu Russo Balti State University

Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Nahçıvan Dövlet Universiteti

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University

Dr. Aziz İLGAZİ
Harran University

Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou

Dr.Duong To Quoc THAI
Dong Thap University

Dr.Huma IKRAM
University Of Karachi

Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education

Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

Dr.Muhammad Saleh FAISAL
Pmdc Registration

Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Tatia DOLİDZE
European University

Scıentific Development and Innovative Approach

11th INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

06-07 NOVEMBER, 2026 KONYA/TÜRKİYE

Congress Program

Participant Countries:

TÜRKİYE - ALBANIA - ALGERIA - AZERBAIJAN - BANGLADESH - BULGARIA - CHINA - ENGLAND - ETHIOPIA - GEORGIA - INDIA - INDONESIA - IRAN - ISRAEL - JORDAN - KAZAKHSTAN - LITHUANIA - LEBANON -MOROCCO - NIGERIA - NORTH MACEDONIA - PAKISTAN - PHILIPPINES - ROMANIA - SAUDI ARABIA - VIETNAM

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of "Meeting ID or Personal Link Name" and solidify the session. The presentation will have 15 minutes (including questions and answers). The Zoom application is free and no need to create an account. The Zoom application can be used without registration. The application works on tablets, phones and PCs. Speakers must be connected to the session 10 minutes before the presentation time. All congress participants can connect live and listen to all sessions. During the session, your camera should be turned on at least 70% of session period. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

Make sure your computer has a microphone and is working. You should be able to use screen sharing feature in Zoom. Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session. **Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır. Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır. Online sunum yapabilmek için **https://zoom.us/join** sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz. Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur. Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir. Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışıyor. Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir. Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir. Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun. Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz. Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir. Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır. **Zoom'a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız, Örnek: Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

https://us06web.zoom.us/j/87605248242?pwd=bi10jXJ8aaHVWiH7crqnuFmlMcVVyn.1

07.11.2026 / Hall-1, Session-1			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	10 ^{00} : 12 ^{15}		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ayşe AKHAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Awake Fibreoptic Intubation In An Elderly Patient With Glottic Narrowing And Stridor: A Case Report	Assist. Prof. Dr. Ayşe AKHAN	Karabük University TÜRKİYE
Individualized Surgical Management Of Gallstone Ileus: Different Treatment Strategies In Two Cases	Assist. Prof. Dr. Mahmut Baran YERLİKAYA	Van Yüzüncü Yıl University TÜRKİYE
Cyber Attacks In Healthcare Institutions And Service Continuity: A Crisis Management Perspective	Assoc. Prof. Dr. Fatih BUDAK Beyza BİLGİÇ	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE
Artificial Intelligence-Supported Managerial Decision-Making Processes In Healthcare: Opportunities, Risks, And Future Perspectives	Assoc. Prof. Dr. Fatih BUDAK Beyza BİLGİÇ	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE
Current Approaches In Virtual Reality-Based Midwifery Education And Perineal Protection Packages	Emine Nur DAĞ Prof. Dr. Gülbahtiyar DEMİREL	Aksaray Merkez Taşpınar Aile Sağlığı Merkezi TÜRKİYE Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE
The Use Of Artificial Intelligence In Health Tourism: Opportunities, Risks, And Future Perspectives	Merve DEMİRCİ Assoc. Prof. Dr. Nurperihan TOSUN	SCU Social Sciences Institute TÜRKİYE
The Effects Of Simulation-Based Training On Students During The Birth Process On Students	Aybike SERBES Prof. Dr. Gülbahtiyar DEMİREL	Sivas Medicana Hastanesi, Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE
Examination Of Parents' Awareness And Knowledge Of Dyslexia Among Primary School Students In Relation To Various Variables	Esen GÜL Elanur TAVUKÇU Fatma İrem ULUKÖK Prof. Dr. Fatma Elif ERGİN	Ankara Yildirim Beyazit University TÜRKİYE
Acute Effects Of Pre-Performance Foam Rolling On Jump Performance In Volleyball Players: A Systematic Review	Şener MUTLU Assoc. Prof. Dr.Sadettin EROL Doğukan GAZİOĞLU	Bursa Uludağ University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Orhan KAVAK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Risks And Disadvantages Associated With Digital Systems Used In Agricultural Production	Hazel GÖKDERE Prof. Dr. Erkan BOYDAK Assoc. Prof. Dr. Zeynep DUMANOĞLU	Bingol University TÜRKİYE
The Impact Of Field Crop Production On The Carbon Footprint	Assoc. Prof. Dr. Zeynep DUMANOĞLU Prof. Dr. Erkan BOYDAK	Bingol University TÜRKİYE
Techno-Economic Analysis Methods For Aggregates	Talip AKYIL Prof. Dr. Orhan KAVAK	Dicle University TÜRKİYE
Properties Of Aggregates Located In Diyarbakir	Talip AKYIL Prof. Dr. Orhan KAVAK	Dicle University TÜRKİYE
Design And Manufacturing Of A Contactless Solid Medication Dispensing Machine With Modular Compartments	Kaan KOÇ Merdan Efe TAŞ Assist. Prof. Dr. Kürşat TANRIVER Prof. Dr. Mustafa AY	Istanbul Health and Technology University TÜRKİYE
Comparing Geometric Representations For Surrogate Modeling Of Lorenz-Julia Patterned Microstrip Line Sensors	Fatma Seda AYGÜL Yakup HAMEŞ Berker ÇOLAK Muharrem KARAASLAN	Iskenderun Technical University TÜRKİYE
Ranking-Aware Multi-Fidelity Particle Swarm Optimization For Efficient Servo Position Controller Tuning	Res. Asst. Dr. Dogan Can SAMUK	Recep Tayyip Erdogan University TÜRKİYE
Effect Of Heat Treatment On The High-Temperature Creep Behavior Of Additively Manufactured Ti6al4v Alloy At 650 °C	Res. Assist. Burak ÇEPER Mehmet Masum TÜNÇAY	Gaziantep University TÜRKİYE Marmara University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk GÜLER

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Experimental Comparison Of Digital Filtering Methods For Shunt Resistor-Based Current Measurement In Stm32-Based Bldc Motor Drives	Buğra ER Prof. Dr. Okan BİNGÖL	Isparta University TÜRKİYE
Ltspice-Based Comparison Of Si- And Gan-Based Synchronous Buck Converters For 24 V Automotive Systems	Buğra ER Prof. Dr. Okan BİNGÖL	Isparta University TÜRKİYE
Lıteracy And Dısınformatıon In The Dıgıtal Age: Conceptual Framework, Case Examples, And Strategıes For Counteractıon	Assoc. Prof. Dr.Serdar KIRIŞOĞLU Assist. Prof. Dr.Kurban KOTAN	Düzce University TÜRKİYE Manisa Celal Bayar University TÜRKİYE
Techno-Economic Comparison Of Storage Technologies For Daily Load Balancing In An Afyon Geothermal Orc Plant	Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk GÜLER	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
Off-Design Performance Of A Fixed-Hardware R134a Organic Rankine Cycle Under Variable Geothermal Source Conditions	Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk GÜLER	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
Theoretical Analysis Of Heat Recovery In A Spray Dryer For Egg Powder Production	Batuhan AYDIN Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk GÜLER	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
A Five-Mosfet Switchable Resistive–Capacitive Impedance Cell: Circuit Analysis And Simulation In 0.18-µm Cmos	Assist.Prof. Dr.Elham MİNAYİ	Doğuş University TÜRKİYE
A Comparative Study On The Effect Of Correlation-Based Feature Selection On The Performance Of Machine Learning Classifiers	Res. Assist. Dr.Burcu DURMUŞ	Tekirdağ Namık Kemal University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-4, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Use Of Antipyretics In Children	Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
Opioid Use In Children	Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
1,2,4-Oxadiazole Derivatives Exhibiting Anticancer Activity: A Current Review Of The Literature From 2024–2025	Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU Melike GÜLSEVER	Selçuk University TÜRKİYE
The Microbial Richness Of Breast Milk And Its Impact On The Baby	Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR	Selçuk University TÜRKİYE Ondokuz Mayıs University TÜRKİYE
Pharmacological And Non-Pharmacological Approaches In Pediatric Palliative Care	Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
Differential Expression Of Lncrnas And Related Genes In First-Episode And Recurrent Major Depressive Disorder	Huriye ERGEZGİN Prof. Dr. Ayşe Gaye TOMATIR Assist. Prof. Dr. Pervin Elvan TOKGÜN Assist. Prof. Dr. Osman Zülkif TOPAK Res. Assist. Hanife Betül GÜRKAN Dr. İbrahim BAYAV	Pamukkale University TÜRKİYE
Digital Nutrition Misinformation: Implications For Dietary Behaviors And Public Health	Assoc.Prof. Dr.Gülperi DEMİR	Selcuk University TÜRKİYE
Nutrition Literacy And Sustainable Eating Behaviors Among Adult Women	Zeynep Beyzanur ÖZMEN Assoc.Prof. Dr.Gülperi DEMİR	Selcuk University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-5, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 15

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr.Ayhan IŞIK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
From The Traditional Ijāza System To The Modern Diploma: A Comparative Study Through The Case Of Sayyid Scholars	Assoc. Prof. Dr.Ayhan IŞIK	Karabuk University TÜRKİYE
The Representation And Legitimacy Of Genealogy: A Comparative Study Of Sayyid Genealogies And Genealogies Of The Descendants Of The Prophet's Companions	Assoc. Prof. Dr.Ayhan IŞIK	Karabuk University TÜRKİYE
Zikr In The Qur'an In The Context Of The Relationship Between Allah And His Servants	Prof. Dr. Alpaslan ALKIŞ Prof. Dr. Ahmet ABAY	Kahramanmaraş Sutcu İmam University TÜRKİYE
Zikr As A Language Of Communication In The Qur'an	Prof. Dr. Alpaslan ALKIŞ Prof. Dr. Ahmet ABAY	Kahramanmaraş Sutcu İmam University TÜRKİYE
Sainthood And Poleship In Ibn Al-Fāriḍ's Al-Tāʾiyya: A Study In Light Of Saʿīd Al-Dīn Al-Farghānī's Persian And Arabic Commentaries	Assoc. Prof. Dr. Zeliha ÖNER	Aksaray University TÜRKİYE
The Cosmic Correlates Of The Ranks Of Sainthood In Ibn Al-ʿarabī: The Seven Heavens, The Seven Earths And The Earth Of Reality	Assoc. Prof. Dr. Zeliha ÖNER	Aksaray University TÜRKİYE
Articles Of Ottoman Shaykh Al-Islams Regarding The First Four Caliphs: The Case Of The Journal Sebilurresad	Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ Sümeyye KURT	Yalova University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-6, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Reyhan ATASÜ TOPCUOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Four Generatıons Of Human Rıghts And Socıal Work	Prof. Dr. Reyhan ATASÜ TOPCUOĞLU	Hacettepe University TÜRKİYE
Cop31, Climate Justice, The Welfare State And Social Work: City- Regions In Türkiye, Buen Vivir And Agroecological Transformation	Prof. Dr. Reyhan ATASÜ TOPCUOĞLU	Hacettepe University TÜRKİYE
Tiktok As A Space For Intergenerational Cultural Transmission: The Reproduction Of Musical Memory From The Past On Digital Platforms	Res. Asst. Dr. Cem EREN	Istanbul Yeni Yüzyıl University TÜRKİYE
From Traditional Television Broadcasting To Ai-Assisted Production: The Historical And Technological Evolution Of Television Series Broadcasting In Türkiye	Res. Asst. Dr. Cem EREN	Istanbul Yeni Yüzyıl University TÜRKİYE
The Transformation Of Coping Strategies Among Women Employees Over Time	Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk COŞKUN	Hatay Mustafa Kemal University TÜRKİYE
Medıa Reflectıons Of Turkısh Foreıgn Polıcy: The Coverage Of The Turkıc Republıcs Durıng Theır Independence Process In The Turkısh Press (1991-1993)	Yusuf Alper OYAR	Altinbas University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-7, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 00

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Okan ATAY

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Coffee Bioactive Components And Their Protective Role Against Carcinogenesis	Erva Nur KALENDER YAVAŞCI Assist. Prof. Dr. Tuğba DEMİRİZ YÜCER	Karabuk University TÜRKİYE
Punicalagin: Chemical Properties, Metabolism, And Biological Activities	Sude SU Assist. Prof. Dr. Tuğba DEMİRİZ YÜCER	Karabuk University TÜRKİYE
Co-Occurrence Of Mycotoxins In Foods And Cumulative Risk Assessment: Limitations Of The Single-Toxin Approach	Assoc. Prof. Dr.Tuğba DEMİR	Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE
A Biological Strategy Against Micro- And Nanoplastics: Binding By Lactic Acid Bacteria And Postbiotics	Assoc. Prof. Dr.Tuğba DEMİR	Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE
Artificial Intelligence In Animal Production: Applications And Feasibility Under Field Conditions	Prof. Dr. Okan ATAY Res. Assist.Ali Kemali ÖZUĞUR Prof. Dr. Özdal GÖKDAL Assoc. Prof. Dr.Vadullah EREN	Aydın Adnan Menderes University TÜRKİYE
Artificial Intelligence Applications In The Animal-Derived Food Industry	Prof. Dr. Okan ATAY Assist. Prof. Dr.H. Ayla SARI Prof. Dr. Özdal GÖKDAL Res. Assist.Ali Kemali ÖZUĞUR Assoc. Prof. Dr.Vadullah EREN	Aydın Adnan Menderes University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-8, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr.Betül ÖZEN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Digital Privacy And The Protection Of Personal Health Data In Health Tourism	Murat Lütfullah DEMİRCİ Assoc. Prof. Dr. Nurperihan TOSUN	SCU Social Sciences Institute TÜRKİYE
Hope In The Awareness Of Death: A Conceptual Evaluatıon From The Perspectıve Of Nursıng Educatıon	Assoc. Prof. Dr. Betül ÖZEN Prof. Dr. Özlem CEYHAN	Erciyes University TÜRKİYE
Care Dependency And Quality Of Life In Heart Diseases: A Literature Review On Artificial Intelligence-Based Solutions	Prof. Dr. Özlem CEYHAN Assoc. Prof. Dr.Betül ÖZEN	Erciyes University TÜRKİYE
Scientific Analysis Of Greenmetric Research	Lect.Osman ÖZEN	Kütahya University TÜRKİYE
Global Scientific Outlook On Climate Diplomacy	Lect.Osman ÖZEN	Kütahya University TÜRKİYE
Follow Up Of Regenerative Endodontic Treatment In Immature Permanent Teeth: A Two-Case Series	Uzm. Dt. Ali HARAÇ Assist. Prof. Dr.Melis Oya ATEŞ Assist. Prof. Dr.Esma DİNGER	Bolu Abant İzzet Baysal University TÜRKİYE
Global Research Trends In Drug-Resistant Tuberculosis: A Bibliometric Analysis (2022–2026)	Res. Assist. Sena Nur BAŞARAN	Ağrı İbrahim Çeçen University TÜRKİYE Istanbul University TÜRKİYE
Candida Albicans Biofilm And Antifungal Resistance: A Five-Year Global Bibliometric Analysis (2022–2026)	Res. Assist. Sena Nur BAŞARAN	Ağrı İbrahim Çeçen University TÜRKİYE Istanbul University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-9, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

12 30 : 14 00

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Muhammed SALİHOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Role Of Education In Constructing Justice And Political Order In Plato's Republic	Dr. Muhammed SALİHOĞLU	MEB
The Transformative Power Of Knowledge In Kant's On Education: Discipline, Freedom, And Moral Responsibility	Dr. Muhammed SALİHOĞLU	MEB
Playgrounds And The Impact Of Space Design On Child Development	Hatice ÜLKER Assoc. Prof. Dr. Raziye PEKŞEN AKÇA	Okan University TÜRKİYE Kayseri University TÜRKİYE
Problems Experienced By Preschool Teachers Working In Disadvantaged Schools And Their Proposed Solutions	Beyza DİNÇTÜRK Assoc. Prof. Dr. Özge ÖZEL Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
The Intergenerational Transmission Of Reading Culture: Parental Experiences During The Preschool Years	Emine ÜNAL Assoc. Prof. Dr. Özge ÖZEL Assist. Prof. Elif Süreyya KANYILMAZ CANLI	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Pre-Service Teachers' Views On Ai-Supported Lesson Plan Development	Prof. Dr. Okan SARIGÖZ	Hatay Mustafa Kemal University TÜRKİYE
From Virtual Reality To The Metaverse: Pre-Service Teachers' Views And Readiness For Virtual Education	Prof. Dr. Okan SARIGÖZ	Hatay Mustafa Kemal University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-10, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

12 30 : 13 15

MEETING ID: 876 0524 8242

PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Postharvest Vase-Solution Components And Vase Life Of Gladiolus Cut Flowers	Mohamed AHMED MOHAMUD Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM Prof. Dr. Rezzan KASIM	Kocaeli University TÜRKİYE
Effects Of Protocatechuic Acid Application On The Postharvest Quality Of Fruits And Vegetables	Ümmü Gülsüm FİDAN Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM Prof. Dr. Rezzan KASIM	Kocaeli University TÜRKİYE
Properties Of Black Cumin Seed Oil And Its Potential Use In The Postharvest Preservation Of Fresh Fruits And Vegetables	Kübra ELÇİ Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM Prof. Dr. Rezzan KASIM	Kocaeli University TÜRKİYE
Nanoparticles For Extending The Vase Life Cut Flowers: Mechanism Of Action And Application Potential	Saide GÜLER Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM Prof. Dr. Rezzan KASIM	Kocaeli University TÜRKİYE
Service Organization In Ecotourism: An Evaluation Of Accommodation, Catering, And Service Quality	Yegana AHMADOVA	Azerbaycan Devlet Pedagoji University AZERBAIJAN

07.11.2026 / Hall-11, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 14 45		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Fatma ÖZKAN TUNCAY

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Effects Of Multiple Sclerosis On Women's Sexual Health	Prof. Dr. Fatma ÖZKAN TUNCAY Assist. Prof. Dr. Didem KAYA	Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE Nuh Naci Yazgan University TÜRKİYE
Thyroid Function Disorder In Pregnancy And Nursing Care	Assist. Prof. Dr. Didem KAYA Prof. Dr. Fatma ÖZKAN TUNCAY	Nuh Naci Yazgan University TÜRKİYE Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE
Do We Choose Goals That Fit Our Personality? A Theoretical Model From Personality-Goal Fit To Goal Ownership And Psychological Adjustment	Dr. Buşra Bahar ÇOKYAMAN	Düzce University TÜRKİYE
Search For Meaning And Purpose In Life In Addiction Recovery	Dr. Buşra Bahar ÇOKYAMAN	Düzce University TÜRKİYE
Evaluation Of The Relationship Between Food-Drug Interaction Knowledge, Nutrition Knowledge, And Occupational Anxiety Among Healthcare Professionals	Assist. Prof. Dr.Buse BAKIR Rumeysa TAN	İzmir Katip Celebi University TÜRKİYE
Determining Nursing Students' Anxiety and Attitudes Toward Artificial Intelligence	Esma Nur BARAKLI Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
Current Prevalence Of Peer Bullying	Esma Nur BARAKLI Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
New Ai-Based Approaches In Molecular Biology And Genetics: Genomics, Proteomics, Protein Design	Handan ZEYNEPLİ Hikmet Yeter ÇOĞUN	Çukurova University TÜRKİYE
Effects Of Different Oxidation States Of Chromium On Hematological, Metabolic, And Organ Systems	Handan ZEYNEPLİ Hikmet Yeter ÇOĞUN	Çukurova University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-12, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 14 45		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Data Quality For Url-Based Phishing Detection: A Case Study Of Domain Concentration, Dns Resolution Disparities, And Temporal Validity	Hilassoun A. Roland SANOU Çiğdem ACI	Mersin University TÜRKİYE
Graph-Based Phishing Detection: A Critical Review Of Temporal Evaluation And Robustness To Missing Network Information	Hilassoun A. Roland SANOU Çiğdem ACI	Mersin University TÜRKİYE
Experimental Investigation Of The Mechanical And Assembly Performance Of Replacing The Sae 1040 Ball Pin Ring With Peek Cf30	Aykut ÇALIŞKAN Elçin KAHRAMAN UMAN	SIO Automotive TÜRKİYE
Hybrid Pcm System With Tower-Type Heatsink: Experimental Investigation Of Dynamic Energy Storage And Release Behavior	Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK	Hitit University TÜRKİYE
Estimation Of Future Photovoltaic Panel Waste In Türkiye And Assessment Of Recycling Potential Within The Framework Of A Circular Economy	Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK	Hitit University TÜRKİYE
Frequency Control In A Pemfc–Battery-Backed Grid Using Mit Rule-Based Adaptive Pi Under Measurement Noise And Communication Delay	Dr. Erdi YILDIZ	Kayseri University TÜRKİYE
Planning Policies In Gaziantep In The Context Of Urban Continuity And Transformation	Lect. Dr. Zeynep ATAŞ	Gaziantep University TÜRKİYE
Silica–Boric Acid–Based Porous Composite Dielectric Resonator Antenna For Microwave Applications	Lect. Dr.Fidan Gamze KIZILÇAY Prof. Dr. İhsan TOROĞLU Assist. Prof. Dr.Abdullah Oğuz KIZILÇAY	Zonguldak Bülent Ecevit University TÜRKİYE
A Drone-Based Approach For Monitoring Bark Beetle Damage In Fir Forests	Res. Assist.Mustafa TURNA Lect. Dr.Fidan Gamze KIZILÇAY Assist. Prof. Dr.Abdullah Oğuz KIZILÇAY	Zonguldak Bülent Ecevit University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-13, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 14 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assist.Prof.Dr.Murat KOÇ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Artificial Intelligence In Childcare: How Beneficial And How Reliable Is It For Mothers	Tuba PEKŞEN Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
Determination Of Fever Management Approaches Among Parents Of Children Admitted To The Pediatric Emergency Department With High Fever	Tuba PEKŞEN Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU	Selçuk University TÜRKİYE
Aphid Adaptation To Plant Secondary Metabolites	Assist. Prof. Dr.Gülay OLCABEY ERGİN Dr. Şükrü CANPOLAT	Niğde Ömer Halisdemir University TÜRKİYE
Potential Use Of Some Macrofungi In Aphid Control	Assist. Prof. Dr.Gülay OLCABEY ERGİN Dr. Şükrü CANPOLAT	Niğde Ömer Halisdemir University TÜRKİYE
Mthfr Polymorphisms, Folate Metabolism, And Personalized Nutrition: A Nutrigenetic And Nutrigenomic Study	Ayşenur GÜNTAÇ Assoc. Prof. Dr Şükriye YEŞİLOT Prof. Dr. Çiğdem AYDIN ACAR	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Effects Of Omega-3 Fatty Acids On Inflammatory Pathways And Drug Response	Ayşenur GÜNTAÇ Assoc. Prof. Dr Şükriye YEŞİLOT Prof. Dr. Çiğdem AYDIN ACAR	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
The Effect Of Aluminum Oxide Nanoparticles On Hemocyte Count And Protein Levels In The Freshwater Mussel Unio Delicatus	Lailim SALAMATKYZY Assoc. Prof. Dr. Gülbin FERİDUN Assoc. Prof. Dr. Göktuğ GÜL Asst. Prof. Dr. Pınar ARSLAN YÜCE Beran FERİDUN Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL	Gazi University TÜRKİYE Çankırı Karatekin University TÜRKİYE
Complementary And Alternative Approaches Supporting The Activity Of Mobilising In Palliative Care Patients	Assoc.Prof. Dr.Nurdan YALÇIN ATAR Assist.Prof.Dr.Murat KOÇ	Sağlık Bilimleri University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-14, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 14 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Rahime BÜYÜKKURT

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Relational Agency In The English Novel: Narrative Authority And The Control Of Information In Emily Brontë's Wuthering Heights	Dr. Rahime BÜYÜKKURT	Erzincan Binali Yıldırım University TÜRKİYE
The Effect Of Artificial Intelligence-Supported Digital Game-Based Learning On Academic Achievement And Attitudes Toward Artificial Intelligence In Teaching Biodiversity To Sixth-Grade Students Within The Framework Of The Century Of Türkiye Education Model	Dilek KİTİR Prof. Dr. Esra BENLİ ÖZDEMİR	Gazi University TÜRKİYE
Examining Middle School Students' Processes Of Identifying And Evaluating Ai-Generated Misinformation In The Context Of Science Education	Prof. Dr. Esra BENLİ ÖZDEMİR Dilek KİTİR	Gazi University TÜRKİYE
Evaluation Of Unjust Enrichment Through The Example Of Antalya From The Perspective Of International And Comparative Law	Muratcan IŞILDAK Fatmagül KÖKSAL	Balkan University MACEDONYA
The Social Influence Of Professional Sports: Identity, Inequality, And Social Transformation	Muratcan IŞILDAK Muhammet AVŞAR	Balkan University MACEDONYA
Insuring Risks Arising From The Custody Of Crypto-Assets: Liability Of Digital Asset Custody Providers	Dr. Pelin Atila YÖRÜK	Ankara University TÜRKİYE
On Digital Planes -Commitment And -The Effect Of Commitment On Topological Characteristics	Gamze KUKUŞ Assoc. Prof. Dr. Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR	Amasya University TÜRKİYE
The Use Of Topological Methods In Cancer Research: A Mathematical Review	Gamze KUKUŞ Assoc. Prof. Dr. Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR	Amasya University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-15, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 14 15		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr.Zekiye ŞENGÜL ABEDI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Geopolitical Risk And Financial Institutions: A Bibliometric Analysis And The Research Gap In Insurance	Assoc. Prof. Dr. M. Hadin ÖNER Assoc. Prof. Dr. Abdullah KILIÇARSLAN Assoc. Prof. Dr. Hasan KAZAK Prof. Dr. Ahmet Tayfur AKCAN	Aksaray University TÜRKİYE Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
Nominal Versus Real Profitability Of Insurance Companies In A High-Inflation Era: Panel Evidence From Borsa Istanbul (2006–2025)	Assoc. Prof. Dr. M. Hadin ÖNER	Aksaray University TÜRKİYE
Price Formation In The Global Pistachio Market: The Geographic Scope Of Stocks And Origin-Specific Supply Changes	Assoc.Prof. Dr.Zekiye ŞENGÜL ABEDI	Siirt University TÜRKİYE
Agrivoltaic (Agri-Pv) Systems In Türkiye: Crop Suitability, Land Governance And A Break-Even Analysis For Sugar Beet In Konya Province	Assoc.Prof. Dr.Zekiye ŞENGÜL ABEDI	Siirt University TÜRKİYE
Assessing Government Ai Readiness In Brics+ Economies And Türkiye Using The Integrated Logsta–Munra Multi-Criteria Decision-Making Model	Assist. Prof. Dr.Ömer ATALAY	Kafkas University TÜRKİYE
The Changıng Response Of Gold Prıces Durıng Wartıme: Re-Evaluatıng Gold's Safe-Haven Status	Pınar EVSEN Assist.Prof.Dr.İsmail TUNA	Tokat Gaziosmanpaşa University TÜRKİYE
Trends And Lımıtatıons Of Glass Ceılıng Syndrome Studıes In Turkey: An Analysıs Of Graduate Theses Focused On The Bankıng And Insurance Sectors	Pınar EVSEN	Tokat Gaziosmanpaşa University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-16, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	12 30 : 13 45		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Hasan BAĞCI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A Finite Element Analysis-Based Study Of Design Variable Effects On Axial And Bending Stiffness Of Flexible Diaphragm Couplings Using Box-Behnken Response Surface Methodology And Comparison With Experimental Results	Mertcan MOSMOS Assoc. Prof. Dr. Tunç APATAY	Gazi University TÜRKİYE
Turkiye-Jordan Relations (1923-1991)	Okan ULUTAŞ	Abant İzzet Baysal University TÜRKİYE
The Formation And Development Of The Banu Hilal Epic In Oral And Written Traditions	Sevinj Eldar gizi Hazratguliyeva	Azerbaijan National Academy of Sciences AZERBAIJAN
The Effect Of Blackout Technique Applications On The Writing Self-Efficacy Perceptions Of Gifted Students	Prof. Dr. Hasan BAĞCI Mehmet KAÇAR	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Environmental Exposure Pathways And Toxicological Effects Of Rare Earth Elements On Human Health: A Bibliometric And Themaic Review	Assoc. Prof. Dr. Sinem ÇOLAK Assoc. Prof. Dr. Koray ALPER	Zonguldak Bülent Ecevit University TÜRKİYE

07.11.2026 / Hall-17, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 00 : 15 00		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Thai Cong DAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Ex Vivo Isolation Of Macrophages Following Carrageenan-Induced Inflammation And Evaluation Of The Anti-Inflammatory Activity Of An Ethanolic Extract	Zineb SEKKOUT Omaima BOUDAIA Driss RADALLAH Najat EL AMRANI EL HAMSAS EL YOUBI Amal	Ben M'Sik, University Hassan II MOROCCO
Use Of Artificial Intelligence For Medication Adherence Assessment In Patients With Type 2 Diabetes: An Exploratory Study In Morocco Using Chatgpt And The Validated General Medication Adherence Scale	Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	Hassan First University MOROCCO Mohammed VI University MOROCCO
Antimicrobial And Antioxidant Activities Of Ethanolic And Petroleum Ether Extracts Of Euphorbia Poisonni Pax	Azaki Gideon Philip , Tanko Ezekiel Dafa Samuel Terungwa, Suleiman Rahmat ,OkinoAdeiza Isah , Salihu Adamu Makanta, Shaba Elijah Yanda, Fadipe Labake Ajoke,James Daniel	Federal University NIGERIA University of Chinese Academy CHINA Sharda University INDIA
Comparative Study Of The Phytochemical Composition Of Fumaria Parviflora From Three Regions Of Morocco	Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	Hassan II University MOROCCO
Project-Based Learning In EFL Higher Education: Exploring Learners' Experiences And Communicative Development In The Moroccan Context	Bessma Hamama Samia Moustaghfir Sakina El Khattabi	Ibn Tofail University MOROCCO
Fast Water Loss And Contamination Detection Via Digital Systems	Lasha Kavelashvili Ketevan Gordeziani	Georgian Technical University GEORGIA
Developing Intercultural Communication Competence For Graduate Students In Tourism Management: A Case Study At A Private University In The Mekong Delta, Vietnam	Dr. Thai Cong DAN Le Minh HIEU Thach Chanh DA	Can Tho University VIETNAM
From Governance Mechanisms To Sustainable Value Creation: A Systematic Literature Review	Fatine BENKIRANE Achraf EL IDRISSI Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH SALOUWA REMMAL ABDELLATIF TAGHZOUTI	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO

07.11.2026 / Hall-18, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 ^{00} : 15 ^{00}		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Assoc. Besiana Çobani

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Integrated Scientific Appraisal Of Anticancer Vaccine Pharmacology And Pharmacotherapy: Evidence-Based Therapeutic Efficacy, Toxicity Profiling, Pharmacovigilance, Immunosafety,Molecular Precision, Therapeutic Benefit–Risk Assessment, Clinical Outcome Optimization, Patient-Centered Care, Clinical Response,Survival Outcomes, Treatment Monitoring And Real-World Effectiveness	Nodar Sulashvili, Nana Gorgaslidze , Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili, Mariam Darbaidze Nato Alavidze, Marika Sulashvili, Irina Imerlishvili, Marina Giorgobiani, Ketevani Gabunia Vira Kravchenko, Olga Shapoval, Igor Seniuk, Nana Mdinaradze, Nino Abuladze, Giorgi Pkhakadze, Magda Davitashvili,Zaza Khachiperadze	BAU International University GEORGIA
The Scientific Talks On The Systematic Theoretical Exploration Of Academic Freedom, Institutional Autonomy, And Intellectual Self-Determination In Higher Education: Conceptual Foundations, Legislative Provisions, Governance Structures, Implementation Mechanisms, And Contemporary Policy Considerations Within International Tertiary Education Systems—Comparative Analytical Perspectives, Regulatory Approaches, And Institutional Relevance	Nodar Sulashvili , Lali Patsia, Ketevani Gabunia, Diego Rada Fernandez de Jauregui, Maka Buleishvili, Marika Sulashvili ,Natia Kvizhinadze, Ada (Adel) Tadevosyan, Marina Giorgobiani, Nana Mdinaradze, Lela Grigolia, Kakhaber Robakidze, Igor Seniuk,Rajkaran Singh, Tamar Okropiridze, David Aphkhazava	BAU International University GEORGIA
The Scientific Discourse On Antiviral Pharmacotherapy And Molecular Pharmacology: Viral Replication Inhibition, Pharmacodynamic Mechanisms, Pharmacokinetic Optimization,Antiviral Resistome Evolution,Pharmacogenomic Determinants, Immunopharmacological Modulation, Pharmacotoxicological Profiling, Clinical Efficacy, Therapeutic Safety, Clinical Outcomes, And Precision-Oriented Therapeutic Strategies	Nodar Sulashvili , Nana Gorgaslidze, Diego Rada Fernandez de Jauregui , Maka Buleishvili, Mariam Darbaidze, Nato Alavidze , Marika Sulashvili, Irina Imerlishvili, Marina Giorgobiani , Ketevani Gabunia ,Vira Kravchenko , Olga Shapoval, Igor Seniuk, Nana Mdinaradze,Nino Abuladze, Giorgi Pkhakadze, Magda Davitashvili, Zaza Khachiperadze	BAU International University GEORGIA
The Comprehensive Scientific Discussion On Pharmacovigilance And Integrated Pharmacological Safety Determination Of Medications Used In Addiction Treatment: Clinical Evaluation, Risk Management,Therapeutic Monitoring, Evidence-Based Clinical Decision-Making, Pharmacotherapeutic Optimization, Adverse Drug Reaction Prevention, And Long-Term Patient Safety Surveillance	Nodar Sulashvili, Lali Patsia, Ketevani Gabunia ,Diego Rada Fernandez de Jauregui , Maka Buleishvili , Marika Sulashvili , Natia Kvizhinadze, Ada (Adel) Tadevosyan, Marina Giorgobiani ,Nana Mdinaradze, Lela Grigolia , Kakhaber Robakidze, Igor Seniuk ,Rajkaran Singh, Tamar Okropiridze, David Aphkhazava	BAU International University GEORGIA
From Traditional Governance To Data-Driven Governance: Transforming Public Decision-Making Mechanisms In The Digital Era	Fatine BENKIRANE Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH EL HJAJBI Yasmine TAMNINE Larbi	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Analysis And Comparison Of Fem–Dtn And Fem–Pml For Helmholtz Scattering By Inhomogeneous Media	MSc. Redjola MANAJ Prof. Assoc. Besiana Çobani	University of Tirana ALBANIA
Effects Of Varying Inclusion Levels Of Datarium Senegalese And Ziziphus Spina Christi On Selected Biochemical Metabolites Of Clarias Gariepinus	Aisha Salihu Dr. Daniel Naallah	Ahmadu Bello University NIGERIA

07.11.2026 / Hall-19, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 ^{00} : 15 ^{00}		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Manole Cojocaru

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Energy Sovereignty And Economic Autonomy In Morocco : Strategic Dependencies,Productive Vulnerabilities, And Transition Pathways Towards 2040	BOUHMIDE Maryame BEN EL HAJ Fouad ELHIRI Abderrazak	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Morocco's Technological, Digital, And Geostrategic Sovereignty: Strategic Dependencies, National Capabilities, And Economic Autonomy Towards 2040	BOUHMIDE Maryame BEN EL HAJ Fouad ELHIRI Abderrazak	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Evaluation Of Students' Support Services In Remote Area Higher Education Institutes	Ms. Farzeel Gohar,Dr. Irfan Bashir Dr. Afshan Naseem,Dr Abdul Malik Dr Yasira Waqar,Dr Almas Shoaib Dr Aisha Sami,Dr Fariha Gul Dr Aqila Rafique,Dr Faisal Anees Dr Sajid Masood,Dr Farhat Munir Ms. Fareeha Sherazi	University of Management and Technology PAKISTAN
Artificial Intelligence (Ai) Agents For Automated Clinical Documentation, Patient Triage, Healthcare Workflow Optimisation, And Intelligent Information Management Across Complex Hospital Environments	Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	Lagos State University NIGERIA
Development And Performance Evaluation Of An Iot-Based Smart Liquefied Petroleum Gas Level And Leakage Detection System For Shipboard Applications	Oladoyin A.E, Olaleye O. O Taiwo Ogunsola, Prince-Victor B, Ikueyemi Daniel, Adeyi A.A Eyibo N. ,Odey Anebi	Maritime Academy of NIGERIA
The Social Face Of Environmental Degradation: A Case Study Of Delhi-Ncr	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma	University of Delhi INDIA
Beyond Technology Adoption: Examining The Conditions For Sustaining Technology-Enhanced Mathematics Instruction In SNigerian Secondary Schools	Abdurrahman Sani Yar'adua Saratu Abdulfatah Yahaya Salisu	Federal University NIGERIA Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA
The Gut-Brain-Skin Axis In Acne: Impact Of Polenoderm	Major Gheorghe Giurgiu Prof. dr. Manole Cojocaru	Titu Maiorescu University ROMANIA
Understanding The Low Appeal Of Geosciences In The Moroccan Education System: A Survey Of Prospective Teachers	El Hassania El Hamzaoui Hind ElHamzaoui	University Sultan Moulay Slimane MOROCCO

07.11.2026 / Hall-20, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 00 : 15 00		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Mohammed Waheeb

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Exploring Restorative Spatial Design In Hospitals:Examining Courtyards And Green Spaces Through A Biophilic Design Perspective In Selected Hospital Settings	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ar. Rashid Ali Khan, Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran, Ar. Sarmad Salahud Din,	Dept. of Architecture, School of Architecture &Planning PAKISTAN
Empire, Faith, And Form: The Gothic Revival Legacy Of The Cathedral Church Of The Resurrection, Lahore.	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran Amna Jabbar Ar. Ayesha Jabbar Ar. Rameesha Khan	Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning PAKISTAN
Sustainable Development Goals Education For Human Impact And Conservation	Assist. Prof. Dr. Stefan STAMENOV Assoc. Prof. Dr. Vanya STAMENOVA	Space Research and Technology Institute BULGARIA
Poverty And Artificial Intelligence: Legal Challenges, Fundamental Rights, And Social Justice In The Digital Era	Roxana Moisoiu	-
Between Artificial Intelligence And Universal Human Values: The Future Of Humanity In The Age Of Technological Transformation	Prof.Moisoiu Roxana	-
From Traditional Metallic Currency To Fiat Piastre: The Role Of The Bank Of Indochina In Modernizing Payment Behaviors In Vietnam (1875-1930)	Dr. Duong To Quoc THAI Dr. Duong Thi Ngoc MINH Nguyen Trung HIEU	Dong Thap University VIETNAM
The Dual Model Of The Bank Of Indochina And Capital Mobilization Mechanisms For Transportation Infrastructure In Vietnam (1875-1945)	Dr. Duong To Quoc THAI Dr. Duong Thi Ngoc MINH Nguyen Trung HIEU	Dong Thap University VIETNAM
Water Flotation As A Tool For Quality Assessment And Grading Of Niqlaoui Dates In Jordan	Prof. Dr.Mohammed Waheeb	The Hashemite University JORDAN
Dates And Globally Important Agricultural Products In Jordan: Evidence From Archaeological Excavations In The Context Of The Mediterranean Basin	Prof. Dr.Mohammed Waheeb	The Hashemite University JORDAN
Comparative Analysis Of Green Port Concept Implementation In The Seaports Of Klaipėda, Riga And Tallinn	Diana Šateikiene	Klaipėdos valstybinė kolegija, LITHUANIA

07.11.2026 / Hall-21, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 00 : 15 00		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Ayobola O. Charles

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Desalination, Renewable Energy, and Public Regulation: Building a Sustainable Legal Framework for Water Security	Ngueya ESSALLAMI Ahmed KHOUYA M'barka EL MOUEDDEN Mohamed DAOUDI	Abdelmalek Essaâdi University MOROCCO Mohammed V University MOROCCO Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Investigating the Usage of Tablet Computers in the Teaching and Learning of English Language in Nigerian Secondary Schools	Aderinsola E. Kayode (PhD)) Suleman Yakubu Dr. Ayobola O. Charles	Trinity University University of Hull ENGLAND
Overview and Epidemiology of Non-tuberculous Mycobacteria Isolated from Wild Animals in Africa	BELLIL Dassine GHAROUT-SAIT Alima DJOUDI Ferhat BELLIL Zahra MENDIL Ouidad MANSEUR Lyticia DIB-SAIT Sabrina	Université de Bejaia ALGERIA
Optimizing Starch Nutrition for Enviro-Economic Sustainability: A Global Responsibility	Akbar Nikkhah	University of Zanjan IRAN
Emerging Roles of Chrono-Nutrition: Early Small Night Meals?	Akbar Nikkhah	University of Zanjan IRAN
Predicting The Hydrogen Storage Performance And Physical Characteristics Of Bexh 3 (X = Pd, Ag, Cd) Perovskite Hydrides: Anab-Initio Approach	Hamza BENAALI Hmad FATIHI Abdellah TAHIRI Mohamed NAJI	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO Sultan Moulay Slimane University MOROCCO Mohammed VI Polytechnic University MOROCCO
Principals' Managerial Responsibilities And School Effectiveness In Public Secondary Schools In Osun State, Nigeria	Seth A. Adeniji	University of Ilorin NIGERIA
Effect Of Hydrostatic Pressure On The Thermoelectric Properties Of Tin Sulfur Chalcogenides: A First-Principles Investigation.	Yahaya Abubakar Aliero	Abdullahi Fodio University NIGERIA

07.11.2026 / Hall-22, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 ^{00} : 15 ^{00}		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Valery V. BELAKHOV

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Cultivating Eco-Consciousness In Early Childhood: An Educational Psychology Framework For Integrating Islamic Environmental Values And Local Wisdom Into Early Childhood Care And Education	Baffa Bashari Ibrahim Halima Umar Muhammad Auwalu Abdullahi	Jigawa State College NIGERIA
In Vitro DPPH Radical-Scavenging Activity Of Serapat (Stem Bark) And Sembung (Leaves And Twigs) Extracts	Abdulmalik Abdulkareem Omeiza, Ibrahim Kalle Kwaifa , Adekola sodiq Adetunji , Sulyman Rukayat Olayinka, Maryam Aladodo ,Saheed Ayodeji Adekola	University of Abuja NIGERIA Usmanu Danfodiyo University NIGERIA
Curriculum As A Lever For Digital Governance: Toward Human-Centered And Trustworthy Educational Technology Integration In Nigerian Tertiary Institutions	Tanimu Adam Ibrahim, PhD Sada Ahmed Jibia, Ph.D.	Northwest University NIGERIA
The Arbëresh Heritage In Albania–Italy Relations: Historical Ties And European Integration	Dr. Denisa Tare	“Aleksandër Moisiu” University ALBANIA
The Use Of Tetraene Macrolide Antibiotic Natamycin In Agriculture As Highly Effective Ecologically Safe Fungicide For Plant Protection	Dr. Valery V. BELAKHOV	Israel Institute of Technology ISRAEL
Design, Rational Search, Synthesis And Biological Evaluation Of 2-O-Acyl-3-Dialkyl(Aryl)Phosphoryl Derivatives Of Ascorbic Acid (Vitamin C)	Dr. Valery V. BELAKHOV	Israel Institute of Technology ISRAEL
Innovative Sustainable Materials For High-Performance Thermal Insulation	Mrajji ouahiba Omar Cherkaoui	Hassan II University MOROCCO
Crude Oil Price Shock And The Nigerian Stock Market Performance In The Face Of Covid-19 Pandemic Evidence From Ardl & Granger Causality Approach.	NA’IM ALIYU Hussaini Aliyu Jibril	Federal University NIGERIA Umaru musa Yaradua University NIGERIA

07.11.2026 / Hall-23, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Unveiling Adaptive Components For Environmental Heterogeneity In Ipomoea Carnea Jacq.	Muhammad Safdar Syed Mohsan Raza Shah	University of Education PAKISTAN
Modeling Structural Shifts And Forecasting The Philippine Peso–Us Dollar Exchange Rate	Roel P. Balayan	Eulogio "Amang" Rodriguez PHILIPPINES
Computational Modeling And Error Assessment Of Metachronal Wave-Driven Viscoelastic Flow In A Slip-Porous Divergent Channel	Dr. Zeeshan Asghar	Prince Sultan University SAUDİ ARABIA
Computational Investigation Of Platinum-Doped Graphene For Carbon Capture: A Hybrid-Quantum Mechanics Study	Mubarak RABI Toyese OYEGOKE	Ahmadu Bello University NIGERIA
Understanding Customer Preferences In Shoe Sole Design: A Comprehensive Review Of Material, Comfort, And Market Trends	Ketema Alemu Tamrat Tesfaye 2 (professor) Karthikeyan Rajan (Professor) Shalem sharew	Bahir Dar University ETHIOPIA
Security Analysis Of Image Encryption Using Left Almost Algebraic Structures	Fazal E Haq Nisar Ahmad	Kohat University PAKISTAN
Invasive Alien Plants In The Southern Saltworks Of Atanasovsko Lake, Bulgarian Black Sea Coast	Assoc. Prof. Plamen Glogov	Bulgarian Academy of Sciences BULGARIAN
Integrated Area Development As A Policy Approach For Sustainable Community And Natural Resource Development In Pesawaran Regency, Lampung Province, Indonesia	Hanna Syafira Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari Siti Fatimah Az-Zahra Widyasari	Universitas Lampung INDONESIA University of Sanata Dharma INDONESIA

07.11.2026 / Hall-24, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Nisar Ahmad

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Twisted Product Of Left Almost Monoids	Nasra Gulfam Dr.Nisar Ahmad	Kohat University PAKISTAN
Dust Exposure, Allergic Rhinitis And Respiratory Health During Harmattan: Practical Daily Modifications For Prevention And Symptom Management	Ibrahim Sani Dikko	Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA
From Ai Investment To Realised Value: A Systematic Review And Value-Conversion Framework	Anel Abdykalykova Associate Professor.Aizhana Maldynova	Kenzhegali Sagadiyev University KAZAKHSTAN
Unique Factorization In Left Almost Group Rings	Zakia Mahnaz Nisar Ahmad	Kohat University PAKISTAN
Subsurface Delineation Of Lead–Zinc Mineralization Using 2D Electrical Resistivity And Induced Polarization Imaging In Ameri, Southeastern Nigeria	A. M. Alwali Abdullahi Bala Abdullahi Ochepo Oloche	Ahmadu Bello University NIGERIA
The Use Of Artificial Intelligence In Medical Research	CONSTANTINESCU Richard VORONEANU-POPA Rareș-Vasile	"Grigore T. Popa" University
Existence Of Solutions For Nonlinear Fractional Boundary Value Problem Depending On Mixed Boundary Conditions	Pr. NOUREDDINE BOUTERAA	University of Oran ALGERIA
Integrated ERT–IP Investigation For Tin–Lithium Mineralization Target Delineation In Nasarawa–Eggon Area, Nasarawa State, Nigeria	A. M. Alwali Ochepo Oloche Abdullahi Bala Abdullahi	Federal University NIGERIA

07.11.2026 / Hall-25, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Genoveva Genoveva

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Polynomial Stability Of Strongly Coupled Hyperbolic Systems With Internal Damping And Implicit Infinite-Memory Effects	ADDOUN Rayan Ikram	University M'hamed Bougara of Boumerdes ALGERIA
Scrolling, Fomo, And Buying: The Influence Of Tiktok Content On Purchase Decisions Among Generation Z Consumers Of Glad2glow	Irawati Sijabat Assoc. Prof. Dr. Genoveva Genoveva	President University INDONESIA
When Marketing Claims Go Too Far: The Influence Of Perceived Ingredient-Related Overclaiming On Consumer Loyalty Through Consumer Trust	Khairina Putri Azhari Assoc. Prof. Dr. Genoveva Genoveva	President University INDONESIA
Financial Risk Management And Corporate Performance In Nigerian Commercial Banks	Umar Baba Shaaba	Pategi University PAKISTAN
Financial Technology Adoption And The Growth Of Small And Medium Enterprises In Nigeria	Umar Baba Shaaba	Pategi University PAKISTAN
Structural Control Of Pb-Zn Mineralizations In The Eastern Hercynien Central Massif (Azrou-Khénifra): Mapping Of Fault Zones	OUHSSAINE 1 Ayoub BOUTSOUGAME 1 Abdelaziz MOUSSAID 1 Azizi	Université Sultan Moulay Slimane MOROCCO
Innovation In Teaching And Assessment In Higher Education Through Artificial Intelligence (2020–2026)	Nguyen Thi Kim Hoa	Can Tho University VIETNAM
Lived Experiences Of Medical Educators Utilizing Artificial Intelligence For Learner Assessment	Dr. Zubia Shah	Khyber Girls Medical College PAKISTAN

07.11.2026 / Hall-26, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Habib Djourdem

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Existence, Uniqueness, And Stability Of Hybrid Fractional Differential Equations Via The Measure Of Noncompactness	Prof. Habib Djourdem	Abdelhamid Ibn Badis University ALGERIA
Efl Teaching Learning And Evaluation In Benin Secondary Schools In Time Of Crisis	SALAMI Amadou BARRY Thierno Souleymane SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée BARRY Amadou	University of Kindia
The Human-AI Synergy: Redefining Communication, Decision- Making, And Organizational Effectiveness In Educational Institutions	Dr. Violla Makhzoum	Islamic University LEBANON
Exploring The Antifungal Potential Of Thymus Vulgaris Essential Oil Against Penicillium Digitatum Through Molecular Docking, Molecular Dynamics, And Toxicity Profiling	Hajar Sadrati Youssef Arif Younes Abbas Sanaa Sabour-Alaoui Prof. Mohammed El Idrissi	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Female Agency Between Resistance And Accommodation: Polygamy, Widowhood, And Women's Solidarity In Mariama Bâ's Une Si Longue Lettre	Dr. Abubakar Sanusi Moba	Federal University NIGERIA
The Role Of Phosphorus In Long-Term Water Quality Assessment Of Lithuania's Largest River System	assoc. prof. dr. Sinilga ČERNULIENĖ assoc. prof. dr. Edita ABALIKŠTIENĖ	Lietuvos inzinerijos kolegija Higher Education Institution
Pfas In Wastewater Treatment: Occurrence, Fate And Removal	Mohamed EL MORSY Prof. Dr.Laila AFIA	Ibnou Zohr University MOROCCO
Salt Economy In Vietnam In The Early Twentieth Century: From Traditional Production To The Colonial Monopoly System	Pham Duc Thuan Tran Minh Thuan Pham Thi Phuong Linh	Can Tho University VIETNAM

07.11.2026 / Hall-27, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Idris Muhammad Ladan

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Linguistic Interpretation And Literary Implications Of Abubakar Gimba's Witnesses To Tears	Dr Idris Muhammad Ladan Dr Aliyu Ibrahim Dantata	Nasarawa State University NIGERIA
Renewed Hopelessness, Destitution And Deception In Kyuka Lilymjok's Hope In Anarchy	Dr. Idris Muhammad Ladan	Nasarawa State University NIGERIA
Adherence Of Pregnant Women To Health Promotion Practices	R.Thiruchelvi Dr.P.Saravanan Dr.M.Chamundeeswari	St. Joseph's College of Engineering INDIA
The Role Of Gis In Environmental Disaster Management And Mitigation.	ALHASSAN GABI USMAN ABDULLAHI GABI MUHAMMAD	Ibrahim Badamasi Babangida University NIGERIA
Business Feasibility Study Of Mariposa Bakehouse	Agnes FLORENSIA Sonny V. SUTEDJO, MM	President University INDONESIA
Effect Of Soft Tissue On Nasal Airflow During Respiratory Profile	Zahid Ullah Khan Zhang Hao Wang Hao Xiaodong Wang	Northeastern University CHINA
Spatial Analysis Of Biodiversity Hotspots Using Qgis And Remote Sensing Data In Bonny Local Government Area, Rivers State, In Niger Delta.	ALHASSAN GABI USMAN ABDULLAHI GABI MUHAMMAD	Ibrahim Badamasi Babangida University NIGERIA
Managing School–Community Partnerships In Upper Secondary Education: A Qualitative Multiple-Case Study In Southern Vietnam	Vo Thi Cu Dinh Thi Kim Tuoi Nguyen Thi My Xuan Bao Thi Pha Thai Cong Dan	Can Tho University VIETNAM

07.11.2026 / Hall-28, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Alma BRAIMLLARI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Organoids As Next-Generation Models For Drug Testing: Advancing Drug Discovery, Predictive Toxicity Assessment, And Personalized Medicine	R. Devadharshini David G Gomathy E Meenatchi S, Venmugilan S. Kalaivanan Dr.W.Helen	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Albania's Youth Guarantee Journey: An Independent Youth Perspective	PhD (c) Arjela Merkuri	University of Tirana ALBANIA
Exploring The Sustainable Valorization Of Jamun Seeds Through Different Drying Techniques For Functional Bakery Applications	Muskan Barinderjit Singh Sahil Chaudhary	I.K. Gujral Punjab Technical University INDIA
Re-Architecting Dispute Resolution: Lok Adalat As A Grassroots Catalyst For Expedited Justice In India	SANCHALIKA BHATTACHARJEE	University of North Bengal INDIA
Thermodynamique Quantique D'un Modèle Effectif De Graphène Dopé Avec Couplage Dipolaire	Brahim EL Houari Brahim Adnane Abdelghani El Houri Ayyoub El Mouatasim et Rachid Houça	Université Chouaïb Doukkali MOROCCO Université Ibn Zohr MOROCCO
Determinants Of Consumer Trust In Digital Banking Security: Evidence From Mobile Banking Users In Albania	Prof. Dr. Alma BRAIMLLARI Ersilda LLAKA	University of Tirana ALBANIA
Literature	Aishwarya S	R.M.K. Engineering College INDIA

07.11.2026 / Hall-29, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
An Appraisal Of Succession Planning In Family-Owned Businesses In Nigeria:Empirical Evidence From Selected Smes In Lagos State, Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD))	National Open University NIGERIA
Impact Of Employee Motivation On The Performance Of Manufacturing Firms In Lagos State, Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)	National Open University NIGERIA
Sustainability Strategies In Contemporary Business Management: Integrating Environmental, Social, And Governance (ESG) Principles In Corporate Planning (A Study Of Nigerian National Petroleum Company Ltd., Abuja, Nigeria)	DR CHUKWUEMEKA G. EME MR MOHAMMED BAPPAH	National Open University NIGERIA
Climate Change And Its Effects On The Socio-Economic Development Of Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)	National Open University NIGERIA
Food Insecurity In Nigeria: An Analysis Of The Impact Of Climate Change, Economic Development And Conflict On Food Security	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)	National Open University NIGERIA
Herbal Nanomedicine For Alzheimer's Disease:Phytochemical Mechanisms And Advances In Brain-Targeted Drug Delivery	Dr Lavanya Babu Hari Nandhini. A Meenatchi. S Swathi. R Devadharshini. R Dinesh Rajan .K Gowtham. V Gomathi.E	Bharath Institute of Higher Education And Education Chennai INDIA
Effect Of Three Sequential Instructional Technique On Senior Secondary Two Students'achievement In Chemistry In Jos North,Plateau State, Nigeria	BOLA OLADELE	-
A Review On Organogels As Next-Generation Self-Assembled Drug Delivery Systems: Formulation Strategies,Characterization, And Biomedical Applications In Dermatological Therapy	M. R. DHANESH KUMAR Dr. R. DEVI	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Social Security And Mental Health Support Policies For Postpartum Women In Urban Vietnam Amid Digital Transformation	Nguyen Thi Nguyet	Hanoi Law University VIETNAM

07.11.2026 / Hall-30, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: Dr. Jean Richard Jokhu

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Reusing Trickling Filter–Treated Wastewater For Sorghum Irrigation In Semi-Arid North Africa: Health And Functional Implications	Ahmed Osmane Khadija Zidan Moustapha Belmouden	Cadi Ayyad University MOROCCO
Trickling Filter Effluent For Millet Irrigation In Arid North Africa: Health And Nutritional Implications	Ahmed Osmane Khadija Zidan Hasnae Sabri Moustapha Belmouden	Cadi Ayyad University MOROCCO
Water Scarcity And Resource Management Under Climate Change In Semi-Arid Zones: Evidence From The Marrakech Region,Morocco	Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	Cadi Ayyad University MOROCCO
Improvised Auto-Electricity Generation System And Its Effect On The Performance Of Technical Colleges Students In Imo State	ARIMONU, Maxwell O. (Ph.D) AIGBODUWA, Stephen Ayemwenre	Federal College of Education NIGERIA
Effect Of Roasting On The Physicochemical, Functional, And Antioxidant Properties Of Melon Seeds (Cucumis Melo L.) : Food Application	ARKOUB-DJERMOUNE Lynda KACI Cilya CHEKROUNE Manel CHETTAB Sabrina BENMEZIANE-DERRADJI Farida	University of Bejaïa ALGERIA Chadli Bendjedid University ALGERIA
Development And Optimization Of Solid State Fermentation Of Sugarcane Tops Using Lactobacillus For Potential Poultry Feed Use.	Ibrahim Aisha Labaran Aliyu Ibrahim Yaradua Abdurrahman Fatima Aliyu Umma Idris Maryam Halliru Idris	Umaru musa Yaradua University NIGERIA
Assessing Basic Science And Technology Curriculum Implementation In Junior Secondary Schools In Jos South Local Government Of Plateau State, Nigeria.	ASABE EDWARD BASH AMINA MUSTAPHA	University of Jos
Coal Sector Dynamics And Indonesia's Aggregate Export Performance (1994–2024)	Dr. Jean Richard Jokhu	President University INDONESIA

07.11.2026 / Hall-31, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 876 0524 8242
	13 30 : 15 30		PASSCODE: 615481

HEAD OF SESSION: DR. MUHAMMAD FAISAL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Dynamics Of Quantum Coherence And Entanglement In Two Coupled Superconducting Qubits Under Decoherence	Mourad Benzahra Mostafa Mansour	University Hassan II MOROCCO
A National Broadband, 5g, Fibre-Optic And Next-Generation Telecommunications Capacity Framework For Inclusive Digital Growth	MS. SABHEEN GHOURY DR. MUHAMMAD FAISAL	Allama Iqbal Open University PAKISTAN
The Economic Value Of Ai-Driven Human Resource Management: Examining Human Capital Productivity,Employee Earnings And Organisational Performance In The Indian It Sector	Dr.M.K.Ganeshan	AMET University INDIA
Formulation And Characterization Of Labneh-Type Dairy Products From Buffalo Milk Under Different Processing Conditions	Maria-Ioana SOCACIU Delia MICHIU, Alexandra-Raluca BORȘA (BOGDAN) Melinda FOGARASI Cristina Anamaria SEMENIUC	,University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca ROMANIA
Integrating Plant Physiology Into Crop Breeding Programs: From Functional Phenotyping To Yield Potential, Stress Adaptation And Sustainable Crop Improvement	Anas Hamdani Atman Adiba Abdellatif Boutagayout	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
Mucoadhesive Microspheres Of Famotidine For Gastro-Retentive Delivery: Development And In Vitro-In Vivo Evaluation	M.NEEVATHA Dr.R.SRINIVASAN Dr.R.DEVI	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Formulation And Optimization Of Transfersomal Gel Of Metformin For Transdermal Delivery Using A 3^2 Factorial Design	M.NARMATHA Dr.R.DEVI Dr.R.SRINIVASAN	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Production, And Evaluation Of Phytochemical And Sensory Properties Of Mixed Spices From Blends Of Bay Leaf, Curry Leaf, Cumin, Ginger, Nutmeg And Turmeric	Onyekwelu, Chinyere Nkemakonam Obele, Chikwendu Nwabuon	Food Technology and Department of Chemical Engineering NIGERIA
Adherence of pregnant women to health promotion practices	Arwa Jameel Felemban Elanah Abdullah Baghdadi Felwa Ahmed Zarea Wafaa A. Rashad	King Abdulaziz University INDIA

PHOTO GALLERY

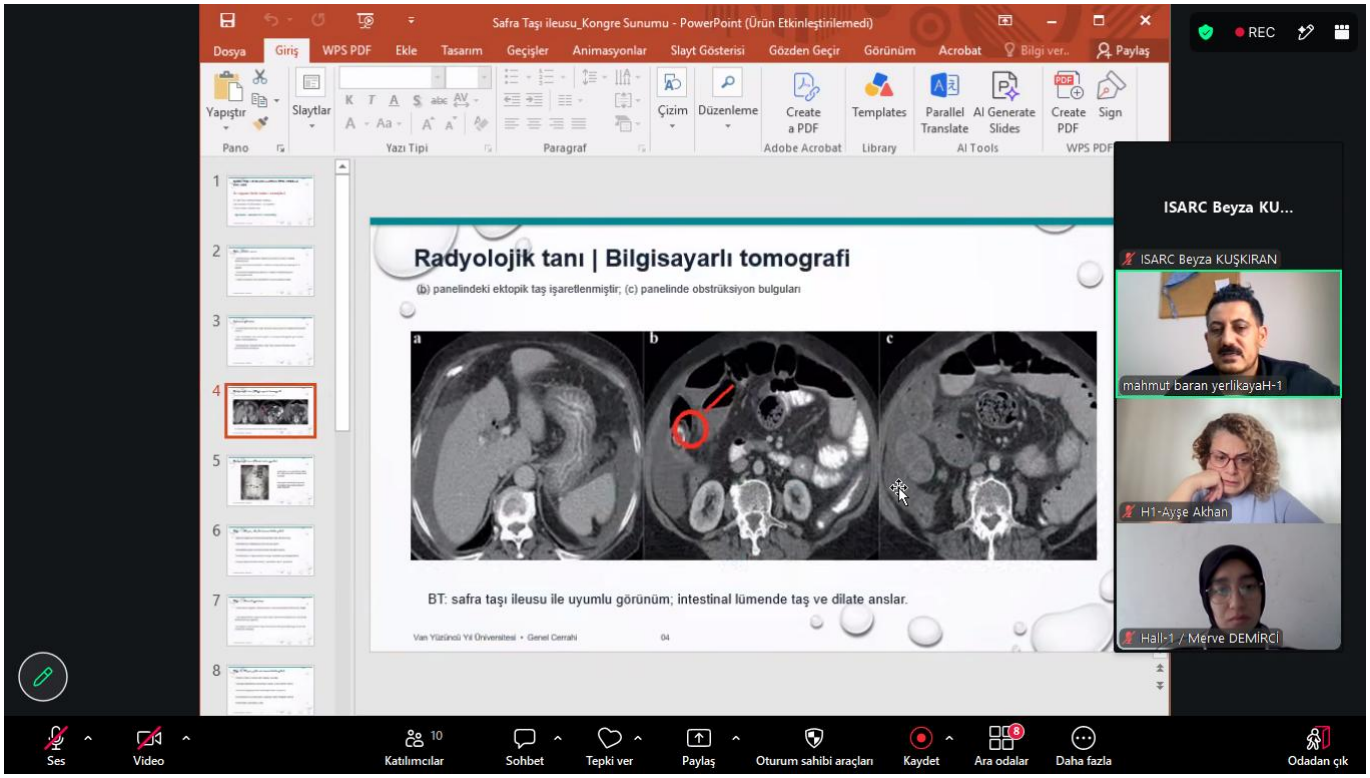
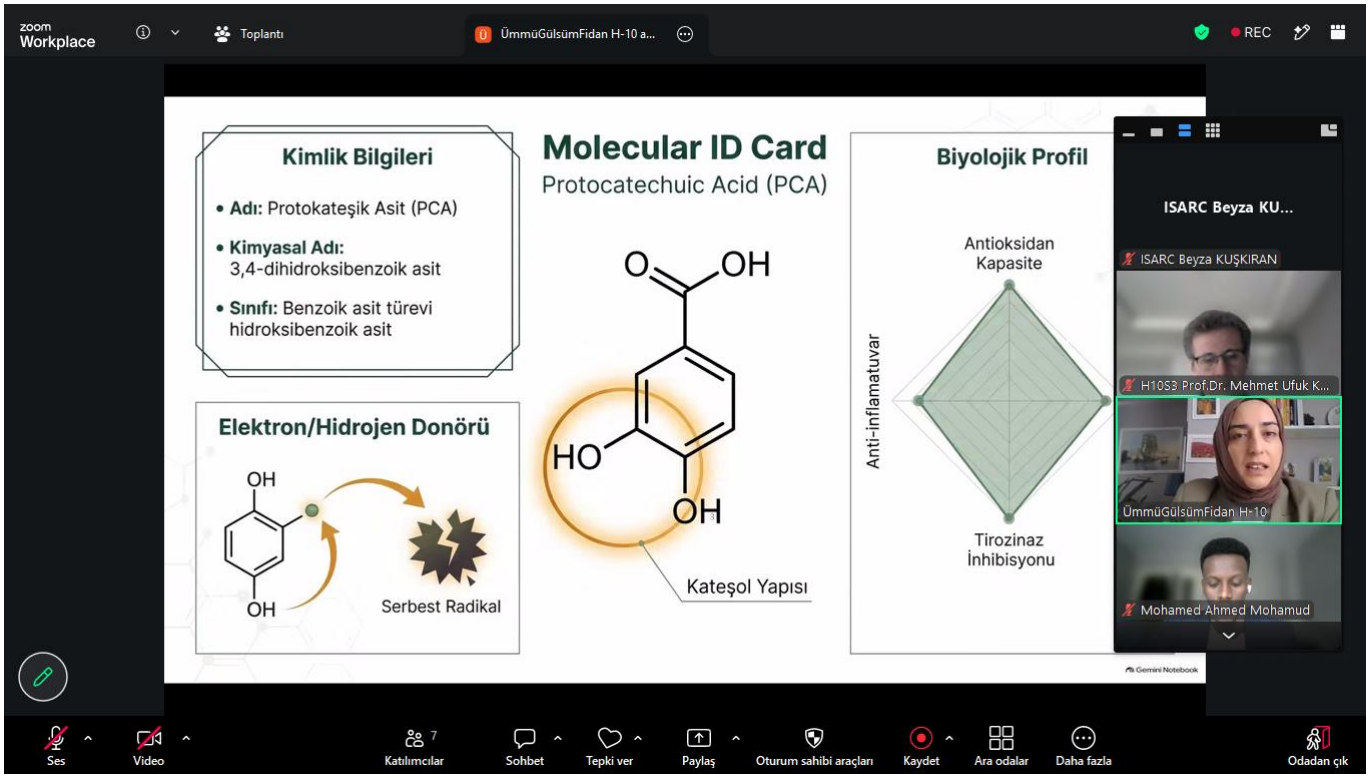




PHOTO GALLERY



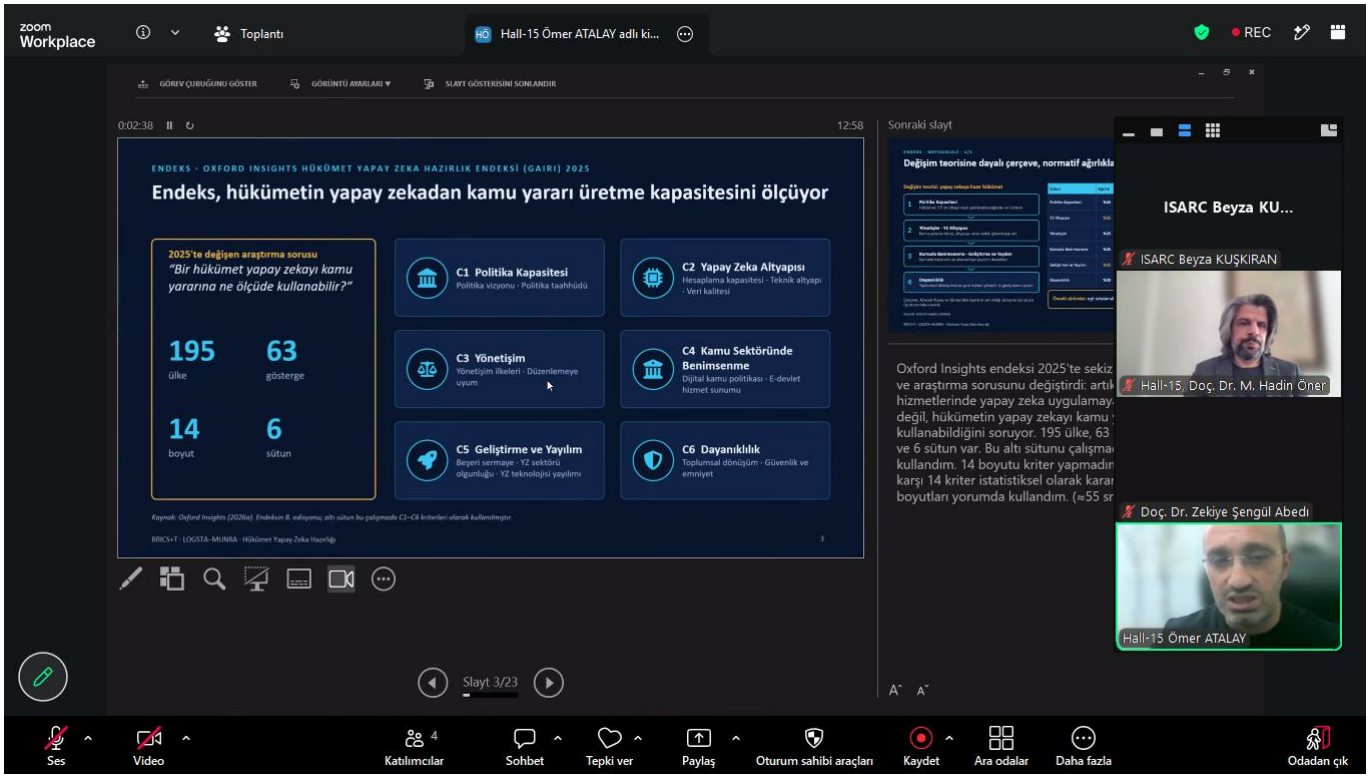
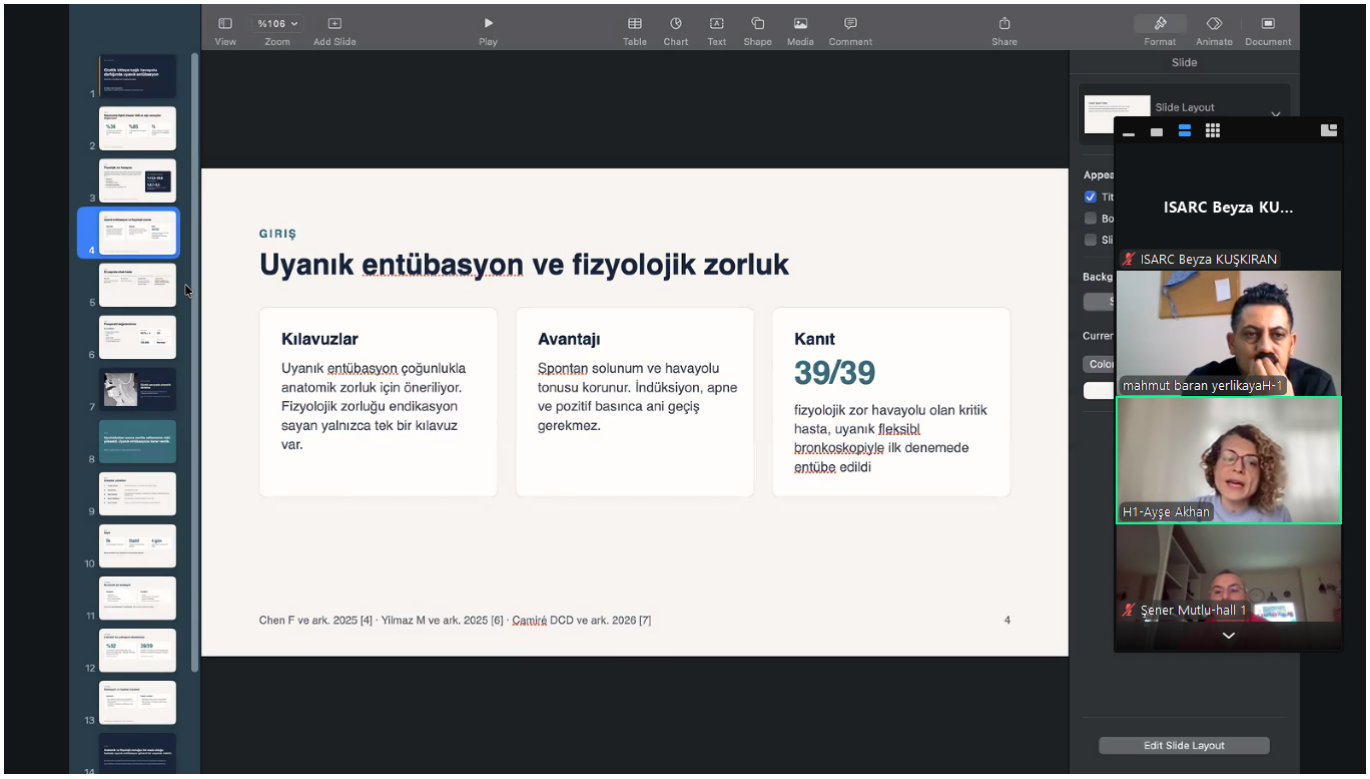


PHOTO GALLERY



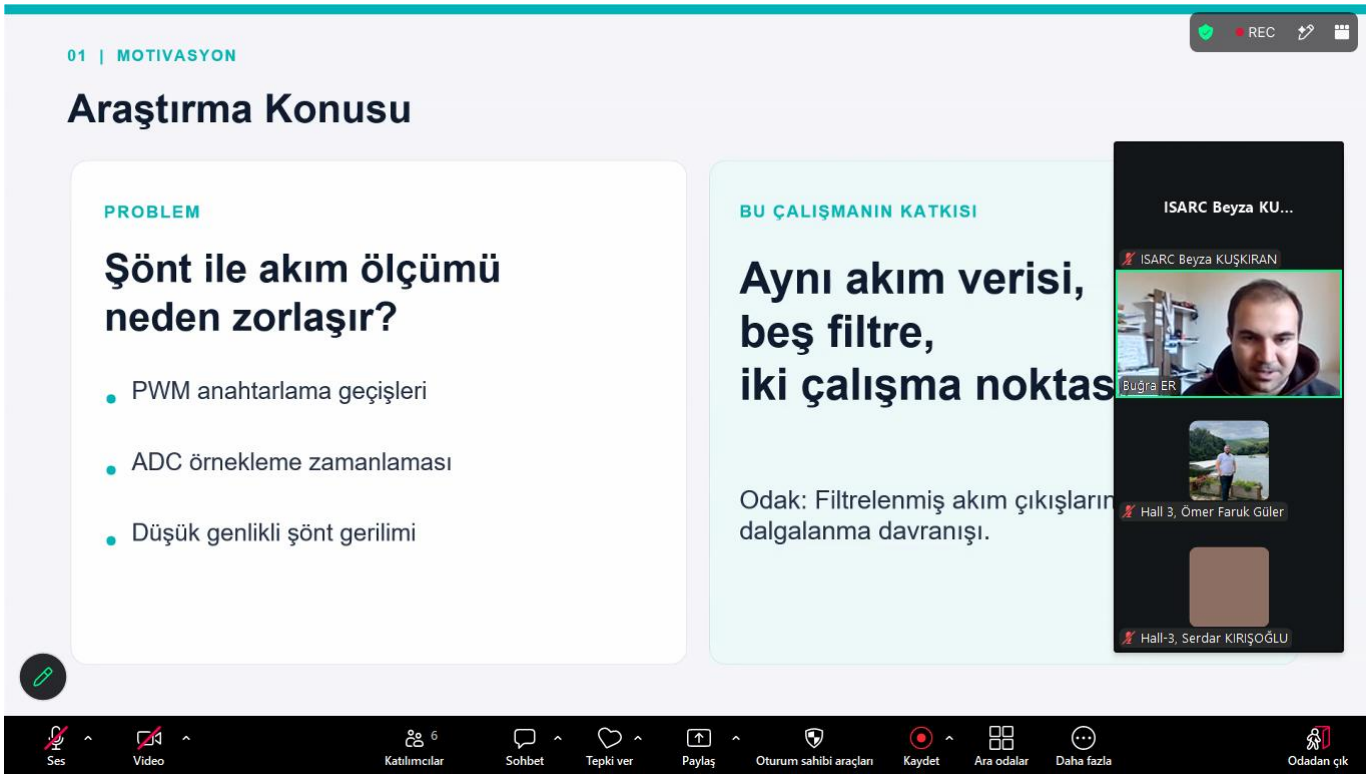
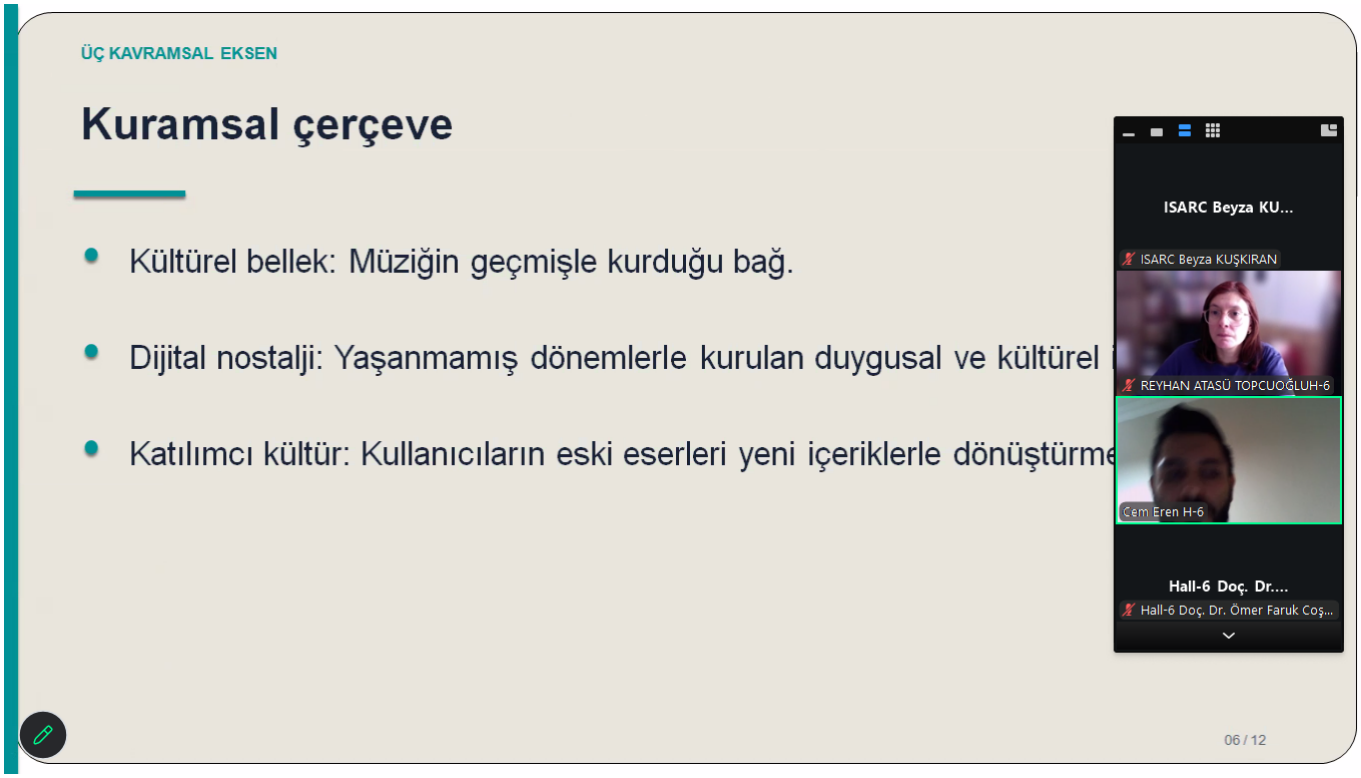
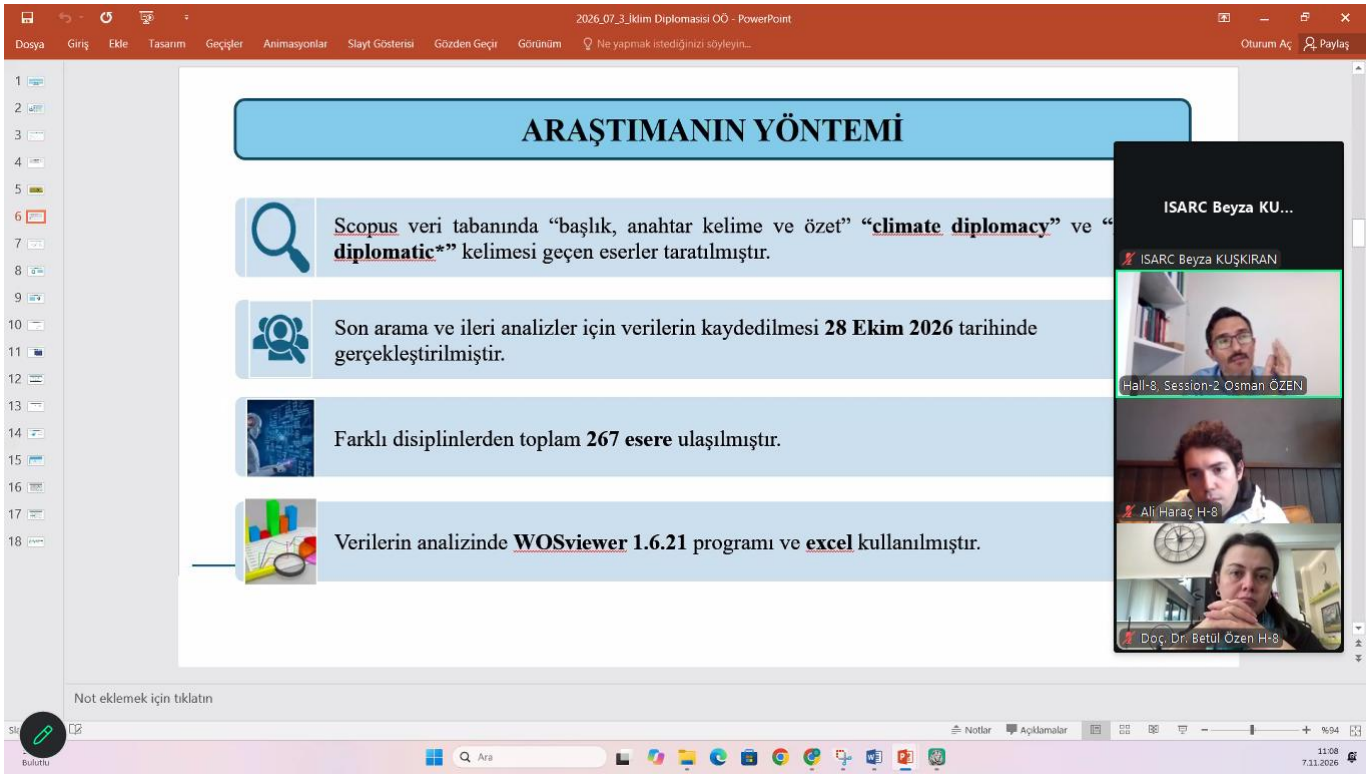


PHOTO GALLERY






ÜÇ KAVRAMSAL EKSEN
Kuramsal çerçeve
Kültürel bellek: Müziğin geçmişle kurduğu bağ.
Dijital nostalji: Yaşanmamış dönemlerle kurulan duygusal ve kültürel
Katılımcı kültür: Kullanıcıların eski eserleri yeni içeriklerle dönüştürme
ISARC Beyza KU...
ISARC Beyza KUŞKIRAN
REYHAN ATASÜ TOPCUOĞLUH-6
Cem Eren H-6
Hall-6 Doç. Dr....
Hall-6 Doç. Dr. Ömer Faruk Coş...
06 / 12


2026_07_3_İklim Diplomasisi OÖ - PowerPoint
ARAŞTIMANIN YÖNTEMİ
Scopus veri tabanında "başlık, anahtar kelime ve özet" "climate diplomacy" ve "
diplomatic*" kelimesi geçen eserler taratılmıştır.
Son arama ve ileri analizler için verilerin kaydedilmesi 28 Ekim 2026 tarihinde gerçekleştirilmiştir.
Farklı disiplinlerden toplam 267 esere ulaşılmıştır.
Verilerin analizinde WOSviewer 1.6.21 programı ve excel kullanılmıştır.
ISARC Beyza KU...
ISARC Beyza KUŞKIRAN
Hall-8, Session-2 Osman ÖZEN
Ali Haraç H-8
Doç. Dr. Betül Özen H-8
Not eklemek için tıklatın

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU:KONGRE KATILIMCI BİLGİSİ **18.11.2026**

İLGİLİ MAKAMA

11. ULUSLARARASI SELÇUK BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 06-07 KASIM 2026 tarihleri arasında KONYA'da ve online olarak 25 farklı ülkeden (Türkiye:114 ve diğer Ülkeler:127; Toplam:241) akademisyen/araştırmacıların katılımı ile gerçekleşmiştir. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen '' Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurtdışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışından en az 5 ülkeden farklı tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır. '' Değişikliğine ve doçentlik kriterlerine uygun olarak düzenlenmiştir uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla,

Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC

NOTIFICATIONS

AUTHOR	TITLE	No
Emine ÜNAL Özge ÖZEL Elif Süreyya KANYILMAZ CANLI	THE INTERGENERATIONAL TRANSMISSION OF READING CULTURE: PARENTAL EXPERIENCES DURING THE PRESCHOOL YEARS	1-21
Beyza DİNÇTÜRK Özge ÖZEL Fatma ÇALIŞANDEMİR	PROBLEMS EXPERIENCED BY PRESCHOOL TEACHERS WORKING IN DISADVANTAGED SCHOOLS AND THEIR PROPOSED SOLUTIONS	22-35
Zekiye ŞENGÜL ABEDI	PRICE FORMATION IN THE GLOBAL PISTACHIO MARKET: THE GEOGRAPHIC SCOPE OF STOCKS AND ORIGIN-SPECIFIC SUPPLY CHANGES	36-58
Zekiye ŞENGÜL ABEDI	AGRIVOLTAIC (AGRI-PV) SYSTEMS IN TÜRKİYE: CROP SUITABILITY, LAND GOVERNANCE AND A BREAK-EVEN ANALYSIS FOR SUGAR BEET IN KONYA PROVINCE	59-86
Esra BENLİ ÖZDEMİR Dilek KİTİR	EXAMINING MIDDLE SCHOOL STUDENTS' PROCESSES OF IDENTIFYING AND EVALUATING AI-GENERATED MISINFORMATION IN THE CONTEXT OF SCIENCE EDUCATION	87-101
Fatma Seda AYGÜL Yakup HAMEŞ Berker ÇOLAK Muharrem KARAASLAN	COMPARING GEOMETRIC REPRESENTATIONS FOR SURROGATE MODELING OF LORENZ-JULIA PATTERNED MICROSTRIP LINE SENSORS	102-110
Aykut ÇALIŞKAN Elçin KAHRAMAN UMAN	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND ASSEMBLY PERFORMANCE OF REPLACING THE SAE 1040 BALL PIN RING WITH PEEK CF30	111-120
Nurdan YALÇIN ATAR Murat KOÇ	COMPLEMENTARY AND ALTERNATIVE APPROACHES SUPPORTING THE ACTIVITY OF MOBILIZING IN PALLIATIVE CARE PATIENTS	121-129
Hasan BAĞCI Mehmet KAÇAR	THE EFFECT OF BLACKOUT TECHNIQUE APPLICATIONS ON THE WRITING SELF-EFFICACY PERCEPTIONS OF GIFTED STUDENTS	130-140
Murat Lütfullah DEMİRCİ Nurperihan TOSUN	DIGITAL PRIVACY AND THE PROTECTION OF PERSONAL HEALTH DATA IN HEALTH TOURISM	141-144
Buse BAKIR Rumeysa TAN	EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FOOD-DRUG INTERACTION KNOWLEDGE, NUTRITION KNOWLEDGE, AND OCCUPATIONAL ANXIETY AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS	145-152
Tuğba DEMİR	A BIOLOGICAL STRATEGY AGAINST MICRO- AND NANOPLASTICS: BINDING BY LACTIC ACID BACTERIA AND POSTBIOTICS	153-160
Tuğba DEMİR	CO-OCCURRENCE OF MYCOTOXINS IN FOODS AND CUMULATIVE RISK ASSESSMENT: LIMITATIONS OF THE SINGLE-TOXIN APPROACH	161-167
Okan SARIGÖZ	FROM VIRTUAL REALITY TO THE METAVERSE: PRE-SERVICE TEACHERS' VIEWS AND READINESS REGARDING VIRTUAL EDUCATION	168-180
Okan SARIGÖZ	PRESERVICE TEACHERS' VIEWS ON AI-SUPPORTED LESSON PLANNING	181-191
Reyhan ATASÜ – TOPCUOĞLU	FOUR GENERATIONS OF HUMAN RIGHTS AND SOCIAL WORK	192-198
Reyhan ATASÜ - TOPCUOĞLU	COP31, CLIMATE JUSTICE, THE WELFARE STATE AND SOCIAL WORK: CITY-REGIONS IN TÜRKİYE, BUEN VIVIR AND AGROECOLOGICAL	199-211
Özlem CEYHAN Betül ÖZEN	CARE DEPENDENCY AND QUALITY OF LIFE IN HEART DISEASES: A LITERATURE REVIEW ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED SOLUTIONS	212-217
Betül ÖZEN Özlem CEYHAN	HOPE IN THE AWARENESS OF DEATH: A CONCEPTUAL EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF NURSING EDUCATION	218-222

Buğra ER Okan BİNGÖL	EXPERIMENTAL COMPARISON OF DIGITAL FILTERING METHODS FOR SHUNT RESISTOR-BASED CURRENT MEASUREMENT IN STM32-BASED BLDC MOTOR DRIVES	223-227
Buğra ER Okan BİNGÖL	LTspice-BASED COMPARISON OF Si- AND GaN-BASED SYNCHRONOUS BUCK CONVERTERS FOR 24 V AUTOMOTIVE SYSTEMS	228-234
Mustafa TURNA Gamze KIZILÇAY Abdullah Oğuz KIZILÇAY	A DRONE-BASED APPROACH FOR MONITORING BARK BEETLE DAMAGE IN FIR FORESTS	235-242
Gamze KIZILÇAY İhsan TOROĞLU Abdullah Oğuz KIZILÇAY	SILICA–BORIC ACID–BASED POROUS COMPOSITE DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA FOR MICROWAVE APPLICATIONS	243-249
Zeliha ÖNER	THE COSMIC CORRELATES OF THE RANKS OF SAINTHOOD IN IBN AL-ʿARABĪ: THE SEVEN HEAVENS, THE SEVEN EARTHS AND THE EARTH OF REALITY	250-254
Zeliha ÖNER	SAINTHOOD AND POLESHIP IN IBN AL-FĀRIḌ'S AL-TĀʾIYYA: A STUDY IN LIGHT OF SAʿĪD AL-DĪN AL-FARGHĀNĪ'S PERSIAN AND ARABIC COMMENTARIES	255-259
M. Hadin ÖNER Abdullah KILIÇARSLAN Hasan KAZAK Ahmet Tayfur AKCAN	GEOPOLITICAL RISK AND FINANCIAL INSTITUTIONS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS AND THE RESEARCH GAP IN INSURANCE	260-272
M. Hadin ÖNER	NOMINAL VERSUS REAL PROFITABILITY OF INSURANCE COMPANIES IN A HIGH-INFLATION ERA: PANEL EVIDENCE FROM BORSA ISTANBUL (2006–2025)	273-280
Gamze KUKUŞ Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR	THE EFFECT OF 4-LINKAGE AND 8-LINKAGE ON TOPOLOGICAL PROPERTIES IN DIGITAL PLANES	281-296
Gamze KUKUŞ Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR	THE USE OF TOPOLOGICAL METHODS IN CANCER RESEARCH: A MATHEMATICAL INVESTIGATION	297-317
Kubra YAŞAR ELÇİ Mehmet Ufuk KASIM Rezzan KASIM	PROPERTIES OF BLACK CUMIN SEED OIL AND ITS POSSIBILITIES IN POST-HARVEST PRESERVATION OF FRESH FRUITS AND VEGETABLES	318-323
Saide GÜLER Mehmet Ufuk KASIM Rezzan KASIM	NANOPARTICLES FOR EXTENDING THE VASE LIFE CUT FLOWERS: MECHANISM OF ACTION AND APPLICATION POTENTIAL	324-332
Ümmü Gülsüm FİDAN Mehmet Ufuk KASIM Rezzan KASIM	EFFECTS OF PROTOCATECHUIC ACID APPLICATION ON THE POSTHARVEST QUALITY OF FRUITS AND VEGETABLES	333-339
Mohamed AHMED MOHAMUD Mehmet Ufuk KASIM Rezzan KASIM	POSTHARVEST VASE-SOLUTION COMPONENTS AND VASE LIFE OF GLADIOLUS CUT FLOWERS	340-347
Esma Nur BARAKLI Sibel KÜÇÜKOĞLU	CURRENT PREVALENCE OF PEER BULLYING	348-357
Esma Nur BARAKLI Sibel KÜÇÜKOĞLU	DETERMINING NURSING STUDENTS' ANXIETY AND ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE	358-367
Esra YILDIZ Sümeyye KURT	ARTICLES OF OTTOMAN SHAYKH AL-ISLAMS REGARDING THE FIRST FOUR CALIPHS: THE CASE OF THE JOURNAL SEBILURRESAD	368-377
Seyfi ŞEVİK	ESTIMATION OF FUTURE PHOTOVOLTAIC PANEL WASTE IN TÜRKİYE AND ASSESSMENT OF RECYCLING POTENTIAL WITHIN THE FRAMEWORK OF A CIRCULAR ECONOMY	378-394
Seyfi ŞEVİK	HYBRID PCM SYSTEM WITH TOWER-TYPE HEATSINK: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DYNAMIC ENERGY STORAGE AND RELEASE BEHAVIOR	395-407
Ali HARAÇ Melis Oya ATEŞ Esma DİNGER	FOLLOW UP OF REGENERATIVE ENDODONTIC TREATMENT IN IMMATURE PERMANENT TEETH: A TWO-CASE SERIES	408-413
Dogan Can SAMUK	RANKING-AWARE MULTI-FIDELITY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR EFFICIENT SERVO POSITION CONTROLLER TUNING	414-427
Rahime BÜYÜKKURT	RELATIONAL AGENCY IN THE ENGLISH NOVEL: NARRATIVE AUTHORITY AND THE CONTROL OF INFORMATION IN EMILY BRONTË'S *WUTHERING HEIGHTS*	428-434
Sude SU Tuğba DEMİRİZ YÜCER	PUNICALAGIN: CHEMICAL PROPERTIES, METABOLISM AND BIOLOGICAL ACTIVITIES	435-444

Erva Nur KALENDER YAVAŞCI Tuğba DEMİRİZ YÜCER	COFFEE BIOACTIVE COMPONENTS AND THEIR PROTECTIVE ROLE AGAINST CARCINOGENESIS	445-459
Mahmut Baran YERLİKAYA	INDIVIDUALIZED SURGICAL MANAGEMENT OF GALLSTONE ILEUS: TWO DISTINCT APPROACHES	460-467
Ömer Faruk GÜLER	OFF-DESIGN PERFORMANCE OF A FIXED-HARDWARE R134a ORGANIC RANKINE CYCLE UNDER VARIABLE GEOTHERMAL SOURCE CONDITIONS	468-472
Ömer Faruk GÜLER	TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF STORAGE TECHNOLOGIES FOR DAILY LOAD BALANCING IN AN AFYON GEOTHERMAL ORC PLANT	473-478
Batuhan AYDIN Ömer Faruk GÜLER	THEORETICAL ANALYSIS OF HEAT RECOVERY IN A SPRAY DRYER FOR EGG POWDER PRODUCTION	479-485
Gülay OLCABEY ERGİN Şükrü CANPOLAT	POTENTIAL USE OF SOME MACROFUNGI IN APHID CONTROL	486-492
Gülay OLCABEY ERGİN Şükrü CANPOLAT	APHID ADAPTATION TO PLANT SECONDARY METABOLITES	493-503
Osman ÖZEN	SCIENTIFIC ANALYSIS OF GREENMETRIC RESEARCH	504-511
Osman ÖZEN	GLOBAL SCIENTIFIC OUTLOOK ON CLIMATE DIPLOMACY	512-519
Serdar KIRIŞOĞLU Kurban KOTAN	LITERACY AND DISINFORMATION IN THE DIGITAL AGE: CONCEPTUAL FRAMEWORK, CASE EXAMPLES, AND STRATEGIES FOR COUNTERACTION	520-531
Beyzanur ÖZMEN Gülperi DEMİR	NUTRITION LITERACY AND SUSTAINABLE EATING BEHAVIORS AMONG ADULT WOMEN	532-538
Ömer Faruk COŞKUN	THE TRANSFORMATION OF COPING STRATEGIES AMONG WOMEN EMPLOYEES OVER TIME	539-554
Burcu DURMUŞ	A COMPARATIVE STUDY ON THE EFFECT OF CORRELATION-BASED FEATURE SELECTION ON THE PERFORMANCE OF MACHINE LEARNING CLASSIFIERS	555-566
Talip AKYIL Orhan KAVAK	TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS METHODS FOR AGGREGATES	567-569
Talip AKYIL Orhan KAVAK	PROPERTIES OF AGGREGATES IN DIYARBAKIR	570-574
Yusuf Alper OYAR	MEDIA REFLECTIONS OF TURKISH FOREIGN POLICY: THE COVERAGE OF THE TURKIC REPUBLICS DURING THEIR INDEPENDENCE PROCESS IN THE TURKISH PRESS (1991-1993)	575-582
Esen GÜL Elanur TAVUKÇU Fatma İrem ULUKÖK Fatma Elif ERGİN	EXAMINATION OF PARENTS' AWARENESS AND KNOWLEDGE OF DYSLEXIA AMONG PRIMARY SCHOOL STUDENTS IN RELATION TO VARIOUS VARIABLES	583-583
Okan ATAY H. Ayla SARI Özdal GÖKDAL Ali Kemali ÖZUĞUR Vadullah EREN	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN THE ANIMAL-DERIVED FOOD INDUSTRY	584-592
Okan ATAY Ali Kemali ÖZUĞUR Özdal GÖKDAL Vadullah EREN	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ANIMAL PRODUCTION: APPLICATIONS AND FEASIBILITY UNDER FIELD CONDITIONS	593-631
Alpaslan ALKIŞ Ahmet ABAY	ZIKR AS A LANGUAGE OF COMMUNICATION IN THE QUR'AN	632-637
Alpaslan ALKIŞ Ahmet ABAY	ZIKR IN THE QUR'AN IN THE CONTEXT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ALLAH AND HIS SERVANTS	638-648
Aybike SERBES Gülbahtiyar DEMİREL	THE EFFECTS OF SIMULATION-BASED TRAINING ON STUDENTS DURING THE BIRTH PROCESS ON STUDENTS	649-655
Hatice ÜLKER Raziye PEKŞEN AKÇA	THE IMPACT OF PLAYGROUNDS AND SPACE DESIGN ON CHILD DEVELOPMENT	656-663
Sibel KÜÇÜKOĞLU Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR	THE MICROBIAL RICHNESS OF BREAST MILK AND ITS EFFECTS ON THE INFANT	664-668
Kaan KÜÇÜKOĞLU Sibel KÜÇÜKOĞLU	OPIOID USE IN CHILDREN	669-674
Kaan KÜÇÜKOĞLU Sibel KÜÇÜKOĞLU	USE OF ANTIPYRETICS IN CHILDREN	675-680

Kaan KÜÇÜKOĞLU Melike GÜLSEVER	1,2,4-OXADIAZOLE DERIVATIVES EXHIBITING ANTICANCER ACTIVITY: A CURRENT REVIEW OF THE LITERATURE FROM 2024–2025	681-687
Sibel KÜÇÜKOĞLU Kaan KÜÇÜKOĞLU	PHARMACOLOGICAL AND NON-PHARMACOLOGICAL APPROACHES IN PEDIATRIC PALLIATIVE CARE	688-693
Tuba PEKŞEN Sibel KÜÇÜKOĞLU	DETERMINATION OF FEVER MANAGEMENT APPROACHES AMONG PARENTS OF CHILDREN ADMITTED TO THE PEDIATRIC EMERGENCY DEPARTMENT WITH HIGH FEVER	694-701
Tuba PEKŞEN Sibel KÜÇÜKOĞLU	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CHILDCARE: HOW BENEFICIAL AND HOW RELIABLE IS IT FOR MOTHERS?	702-707
Sinem ÇOLAK Koray ALPER	ENVIRONMENTAL EXPOSURE ROUTES AND TOXICOLOGICAL EFFECTS OF RARE EARTH ELEMENTS ON HUMAN HEALTH: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC REVIEW	708-715
Sena Nur BAŞARAN	*CANDIDA ALBICANS* BIOFILM AND ANTIFUNGAL RESISTANCE: A FIVE-YEAR GLOBAL BIBLIOMETRIC ANALYSIS (2022–2026)	716-723
Sena Nur BAŞARAN	GLOBAL RESEARCH TRENDS IN DRUG-RESISTANT TUBERCULOSIS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS (2022–2026)	724-732
Emine Nur DAĞ Gülbahtiyar DEMİREL	VIRTUAL REALITY-BASED MIDWIFERY TRAINING AND PERINEAL PROTECTION PACKAGES: CURRENT APPROACHES	733-739
Ayşe AKHAN	AWAKE FIBREOPTIC INTUBATION IN AN ELDERLY PATIENT WITH GLOTTIC NARROWING AND STRIDOR: A CASE REPORT	740-744
Ayşenur GÜNTAÇ Şükriye YEŞİLOT Çiğdem AYDIN ACAR	EFFECTS OF OMEGA-3 FATTY ACIDS ON INFLAMMATORY PATHWAYS AND DRUG RESPONSE	745-755
Ayşenur GÜNTAÇ Şükriye YEŞİLOT Çiğdem AYDIN ACAR	MTHFR POLYMORPHISMS, FOLATE METABOLISM, AND PERSONALIZED NUTRITION: A NUTRIGENETIC AND NUTRIGENOMIC STUDY	756-771
Fatih BUDAK Beyza BİLGİÇ	CYBER ATTACKS IN HEALTHCARE INSTITUTIONS AND SERVICE CONTINUITY: A CRISIS MANAGEMENT PERSPECTIVE	772-782
Fatih BUDAK Beyza BİLGİÇ	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MANAGERIAL DECISION-MAKING PROCESSES IN HEALTHCARE: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE PERSPECTIVES	783-799
Burak ÇEPER Mehmet Masum TÜNÇAY	EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE HIGH-TEMPERATURE CREEP BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED TI6AL4V ALLOY AT 650 °C	800-806
Ayhan IŞIK	TRADITIONAL IJĀZA AND THE MODERN DIPLOMA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SCHOLARLY COMPETENCE AND LEGITIMACY IN THE CONTEXT OF OTTOMAN SAYYID SCHOLARS	807-819
Ayhan IŞIK	THE REPRESENTATION AND LEGITIMACY OF GENEALOGY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SAYYID GENEALOGIES AND THE GENEALOGIES OF THE PROPHET'S COMPANIONS' DESCENDANTS	820-830
Erdi YILDIZ	FREQUENCY CONTROL IN A PEMFC–BATTERY-BACKED GRID USING MIT RULE-BASED ADAPTIVE PI UNDER MEASUREMENT NOISE AND COMMUNICATION DELAY	831-843
Fatma ÖZKAN TUNCAY Didem KAYA	THE EFFECTS OF MULTIPLE SCLEROSIS ON WOMEN'S SEXUAL HEALTH	844-851
Didem KAYA Fatma ÖZKAN TUNCAY	THYROID FUNCTION DISORDER IN PREGNANCY AND NURSING CARE	852-859
Şener MUTLU Sadettin EROL Doğukan GAZİOĞLU	ACUTE EFFECTS OF PRE-PERFORMANCE FOAM ROLLING ON JUMP PERFORMANCE IN VOLLEYBALL PLAYERS: A SYSTEMATIC REVIEW	860-867
Hazel GÖKDERE Erkan BOYDAK Zeynep DUMANOĞLU	ABSTRACT RISKS AND DISADVANTAGES ASSOCIATED WITH DIGITAL SYSTEMS USED IN AGRICULTURAL PRODUCTION	868-878
Zeynep DUMANOĞLU Erkan BOYDAK	THE IMPACT OF FIELD CROP PRODUCTION ON THE CARBON FOOTPRINT	879-884
Sevinj Eldar gizi Hazratguliyeva	THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE BANU HILAL EPIC IN ORAL AND WRITTEN TRADITIONS	885-889
Yegana AHMADOVA	THE MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF TOURISM IN AZERBAIJAN	890-896

Hilassoun A. Roland SANOU Çiğdem ACI	DATA QUALITY FOR URL-BASED PHISHING DETECTION: A CASE STUDY OF DOMAIN CONCENTRATION, DNS RESOLUTION DISPARITIES, AND TEMPORAL VALIDITY	897-904
Hilassoun A. Roland SANOU Çiğdem ACI	GRAPH-BASED PHISHING DETECTION: A CRITICAL REVIEW OF TEMPORAL EVALUATION AND ROBUSTNESS TO MISSING NETWORK INFORMATION	905-913
Muratcan IŞILDAK Fatmagül Köksal	EVALUATION OF UNJUST ENRICHMENT THROUGH THE EXAMPLE OF ANTALYA FROM THE PERSPECTIVE OF INTERNATIONAL AND COMPARATIVE LAW	914-922
Muratcan IŞILDAK Muhammet Avşar	THE SOCIAL INFLUENCE OF PROFESSIONAL SPORTS: IDENTITY, INEQUALITY, AND SOCIAL TRANSFORMATION	923-931
Handan ZEYNEPLİ Hikmet Yeter ÇOĞUN	NEW ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED APPROACHES IN MOLECULAR BIOLOGY AND GENETICS: GENOMICS, PROTEOMICS, PROTEIN DESIGN	932-935
Handan ZEYNEPLİ Hikmet Yeter ÇOĞUN	EFFECTS OF DIFFERENT OXIDATION STATES OF CHROMIUM ON HEMATOLOGICAL, METABOLIC, AND ORGAN SYSTEMS	936-936
Okan ULUTAŞ	TURKİYE-JORDAN RELAIONS (1923-1991)	937-938
PINAR EVSEN İSMAİL TUNA	THE CHANGING RESPONSE OF GOLD PRICES DURING WARTIME: RE-EVALUATING GOLD'S SAFE-HAVEN STATUS	939-940
PINAR EVSEN	TRENDS AND LIMITATIONS OF GLASS CEILING SYNDROME STUDIES IN TURKEY: AN ANALYSIS OF GRADUATE THESES FOCUSED ON THE BANKING AND INSURANCE SECTORS	941-942
Ömer ATALAY	ASSESSING GOVERNMENT AI READINESS IN BRICS+ ECONOMIES AND TÜRKİYE USING THE INTEGRATED LOGSTA–MUNRA MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL	943-944
Dilek KİTİR Esra BENLİ ÖZDEMİR	THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED DIGITAL GAME-BASED LEARNING ON ACADEMIC ACHIEVEMENT AND ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING BIODIVERSITY TO SIXTH-GRADE STUDENTS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE CENTURY OF TÜRKİYE EDUCATION MODEL	945-946
Pelin Atila Yörük	INSURING RISKS ARISING FROM THE CUSTODY OF CRYPTO-ASSETS: LIABILITY OF DIGITAL ASSET CUSTODY PROVIDERS	947-948
Lailim SALAMATKYZY Gülbin FERİDUN Göktuğ GÜL Pınar ARSLAN YÜCE Beran FERİDUN Aysel Çağlan GÜNAL	THE EFFECT OF ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES ON HEMOCYTE COUNT AND PROTEIN LEVELS IN THE FRESHWATER MUSSEL UNIO DELICATUS	949-950
Zeynep ATAŞ	PLANNING POLICIES IN GAZİANTEP IN THE CONTEXT OF URBAN CONTINUITY AND TRANSFORMATION	951-952
Buşra Bahar Çokyaman	SEARCH FOR MEANING AND PURPOSE IN LIFE IN ADDICTION RECOVERY	953-954
Buşra Bahar Çokyaman	DO WE CHOOSE GOALS THAT FIT OUR PERSONALITY? A THEORETICAL MODEL FROM PERSONALITY-GOAL FIT TO GOAL OWNERSHIP AND PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT	955-956
Muhammed SALİHOĞLU	THE TRANSFORMATIVE POWER OF KNOWLEDGE IN KANT'S ON EDUCATION: DISCIPLINE, FREEDOM, AND MORAL RESPONSIBILITY	957-958
Muhammed SALİHOĞLU	THE ROLE OF EDUCATION IN CONSTRUCTING JUSTICE AND POLITICAL ORDER IN PLATO'S REPUBLIC	959-960
Cem EREN	FROM TRADITIONAL TELEVISION BROADCASTING TO AI-ASSISTED PRODUCTION: THE HISTORICAL AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF TELEVISION SERIES BROADCASTING IN TÜRKİYE	961-962
Cem EREN	TIKTOK AS A SPACE FOR INTERGENERATIONAL CULTURAL TRANSMISSION: THE REPRODUCTION OF MUSICAL MEMORY FROM THE PAST ON DIGITAL PLATFORMS	963-964
Gülperi DEMİR	DIGITAL NUTRITION MISINFORMATION: IMPLICATIONS FOR DIETARY BEHAVIORS AND PUBLIC HEALTH	965-965
Huriye ERGEZGİN Ayşe Gaye TOMATIR Pervin Elvan TOKGÜN Osman Zülkif TOPAK Hanife Betül GÜRKAN İbrahim BAYAV	DIFFERENTIAL EXPRESSION OF lncRNAS AND RELATED GENES IN FIRST-EPISODE AND RECURRENT MAJOR DEPRESSIVE DISORDER	966-967

Elham MİNAYİ	A FIVE-MOSFET SWITCHABLE RESISTIVE–CAPACITIVE IMPEDANCE CELL: CIRCUIT ANALYSIS AND SIMULATION IN 0.18-µm CMOS	968-968
Kaan KOÇ Merdan Efe TAŞ Kürşat TANRIVER Mustafa AY	DESIGN AND MANUFACTURING OF A CONTACTLESS SOLID MEDICATION DISPENSING MACHINE WITH MODULAR COMPARTMENTS	969-971
Merve DEMİRCİ Nurperihan TOSUN	THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH TOURISM: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE PERSPECTIVES	972-973
Mertcan MOSMOS Tunç APATAY	A FINITE ELEMENT ANALYSIS-BASED STUDY OF DESIGN VARIABLE EFFECTS ON AXIAL AND BENDING STIFFNESS OF FLEXIBLE DIAPHRAGM COUPLINGS USING BOX-BEHNKEN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND COMPARISON WITH EXPERIMENTAL RESULTS	974-975
Nguyen Thi Nguyet	SOCIAL SECURITY AND MENTAL HEALTH SUPPORT POLICIES FOR POSTPARTUM WOMEN IN URBAN VIETNAM AMID DIGITAL TRANSFORMATION	976-983
Onyekwelu, Chinyere Nkemakonam Obele, Chikwendu Nwabuon	PRODUCTION, AND EVALUATION OF PHYTOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF MIXED SPICES FROM BLENDS OF BAY LEAF, CURRY LEAF, CUMIN, GINGER, NUTMEG AND TURMERIC	984-992
M.NARMATHA Dr.R.DEVI R.SRINIVASAN	FORMULATION AND OPTIMIZATION OF TRANSFERSOMAL GEL OF METFORMIN FOR TRANSDERMAL DELIVERY USING A 3^2 FACTORIAL DESIGN	993-993
Anas Hamdani Atman Adiba Abdellatif Boutagayout	INTEGRATING PLANT PHYSIOLOGY INTO CROP BREEDING PROGRAMS: FROM FUNCTIONAL PHENOTYPING TO YIELD POTENTIAL, STRESS ADAPTATION AND SUSTAINABLE CROP IMPROVEMENT	994-994
Maria-Ioana SOCACIU Delia MICHIU Alexandra-Raluca BORȘA (BOGDAN) Melinda FOGARASI Cristina Anamaria SEMENIUC	FORMULATION AND CHARACTERIZATION OF LABNEH-TYPE DAIRY PRODUCTS FROM BUFFALO MILK UNDER DIFFERENT PROCESSING CONDITIONS	995-995
Mubarak RABIU Toyese OYEGOKE	COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF PLATINUM-DOPED GRAPHENE FOR CARBON CAPTURE: A HYBRID-QUANTUM MECHANICS STUDY	996-996
M.K.Ganeshan	THE ECONOMIC VALUE OF AI-DRIVEN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: EXAMINING HUMAN CAPITAL PRODUCTIVITY, EMPLOYEE EARNINGS AND ORGANISATIONAL PERFORMANCE IN THE INDIAN IT SECTOR	997-997
Vo Thi Cu Dinh Thi Kim Tuoi Nguyen Thi My Xuan Bao Thi Pha Thai Cong Dan	MANAGING SCHOOL–COMMUNITY PARTNERSHIPS IN UPPER SECONDARY EDUCATION: A QUALITATIVE MULTIPLE-CASE STUDY IN SOUTHERN VIETNAM	998-1003
Vo Thi Tu Lan Hoang Minh Tho Nguyen Thi My Han Nguyen Khanh Linh Ho Huu Phuc Anh Huynh Ngoc Huong Thai Cong Dan	STRATEGIC MANAGEMENT OF COMMUNITY ENGAGEMENT IN DIVERSE EDUCATIONAL INSTITUTIONS: A QUALITATIVE CROSS-CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM	1004-1010
Mourad Benzahra Mostafa Mansour	DYNAMICS OF QUANTUM COHERENCE AND ENTANGLEMENT IN TWO COUPLED SUPERCONDUCTING QUBITS UNDER DECOHERENCE	1011-1011
Aisha Salihu Dr. Daniel Naallah Salisu Habeebah Shuaibu Hussain Usman Bida	EFFECTS OF VARYING INCLUSION LEVELS OF DATARIUM SENEGALESE AND ZIZIPHUS SPIA CHRISTI ON SELECTED BIOCHEMICAL METABOLITES OF CLARIAS GARIEPINUS	1012-1012
Redjola MANAJ Besiana Çobani	ANALYSIS AND COMPARISON OF FEM–DtN AND FEM–PML FOR HELMHOLTZ SCATTERING BY INHOMOGENEOUS MEDIA	1013-1028
El Hassania El Hamzaoui Hind ElHamzaoui	UNDERSTANDING THE LOW APPEAL OF GEOSCIENCES IN THE MOROCCAN EDUCATION SYSTEM: A SURVEY OF PROSPECTIVE TEACHERS	1029-1029

ASABE EDWARD BASH AMINA MUSTAPHA	ASSESSING BASIC SCIENCE AND TECHNOLOGY CURRICULUM IMPLEMENTATION IN JUNIOR SECONDARY SCHOOLS IN JOS SOUTH LOCAL GOVERNMENT OF PLATEAU STATE, NIGERIA	1030-1037
Ibrahim Aisha Labaran Aliyu Ibrahim Yaradua Abdurrahman Fatima Aliyu Umma Idris Maryam Halliru Idris	DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF SOLID STATE FERMENTATION OF SUGARCANE TOPS USING LACTOBACCILLUS FOR POTENTIAL POULTRY FEED USE	1038-1038
ARKOUB-DJERMOUNE Lynda KACI Cilya CHEKROUNE Manel CHETTAB Sabrina BENMEZIANE-DERRADJI Farida	EFFECT OF ROASTING ON THE PHYSICOCHEMICAL, FUNCTIONAL, AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF MELON SEEDS (CUCUMIS MELO L.) : FOOD APPLICATION	1039-1039
Muskan Barinderjit Singh Sahil Chaudhary	EXPLORING THE SUSTAINABLE VALORIZATION OF JAMUN SEEDS THROUGH DIFFERENT DRYING TECHNIQUES FOR FUNCTIONAL BAKERY APPLICATIONS	1040-1040
ARIMONU, Maxwell O. AIGBODUWA, Stephen Ayemwenre	IMPROVISED AUTO-ELECTRICITY GENERATION SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE PERFORMANCE OF TECHNICAL COLLEGES STUDENTS IN IMO STATE	1041-1046
Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	WATER SCARCITY AND RESOURCE MANAGEMENT UNDER CLIMATE CHANGE IN SEMI-ARID ZONES: EVIDENCE FROM THE MARRAKECH REGION, MOROCCO	1047-1047
Ahmed Osmane Khadija Zidan Hasnae Sabri Moustapha Belmouden	TRICKLING FILTER EFFLUENT FOR MILLET IRRIGATION IN ARID NORTH AFRICA: HEALTH AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS	1048-1048
Ahmed Osmane Khadija Zidan Moustapha Belmouden	REUSING TRICKLING FILTER–TREATED WASTEWATER FOR SORGHUM IRRIGATION IN SEMI-ARID NORTH AFRICA: HEALTH AND FUNCTIONAL IMPLICATIONS	1049-1049
M. R. DHANESH KUMAR R. DEVI	A REVIEW ON ORGANOGELS AS NEXT-GENERATION SELF-ASSEMBLED DRUG DELIVERY SYSTEMS: FORMULATION STRATEGIES, CHARACTERIZATION, AND BIOMEDICAL APPLICATIONS IN DERMATOLOGICAL THERAPY	1050-1062
BOLA OLADELE	EFFECT OF THREE SEQUENTIAL INSTRUCTIONAL TECHNIQUE ON SENIOR SECONDARY TWO STUDENTS'ACHIEVEMENT IN CHEMISTRY IN JOS NORTH, PLATEAU STATE, NIGERIA	1063-1063
Lavanya Babu Hari Nandhini. A Meenatchi. S Swathi. R Devadharshini. R Dinesh Rajan .K Gowtham. V Gomathi.E	HERBAL NANOMEDICINE FOR ALZHEIMER'S DISEASE: PHYTOCHEMICAL MECHANISMS AND ADVANCES IN BRAIN-TARGETED DRUG DELIVERY	1064-1064
Aishwarya S	LITERATURE	1065-1065
Alma BRAIMLLARI Ersilda LLAKA	DETERMINANTS OF CONSUMER TRUST IN DIGITAL BANKING SECURITY: EVIDENCE FROM MOBILE BANKING USERS IN ALBANIA	1066-1071
Abdurrahman Sani Yar'adua Saratu Abdulfatah Yahaya Salisu	BEYOND TECHNOLOGY ADOPTION: EXAMINING THE CONDITIONS FOR SUSTAINING TECHNOLOGY-ENHANCED MATHEMATICS INSTRUCTION IN NIGERIAN SECONDARY SCHOOLS	1072-1081
CHUKWUEMEKA G. EME	FOOD INSECURITY IN NIGERIA: AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE,ECONOMIC DEVELOPMENT AND CONFLICT ON FOOD SECURITY	1082-1091
CHUKWUEMEKA G. EME	CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECTS ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NIGERIA	1092-1102
CHUKWUEMEKA G. EME	IMPACT OF EMPLOYEE MOTIVATION ON THE PERFORMANCE OF MANUFACTURING FIRMS IN LAGOS STATE, NIGERIA	1103-1126
CHUKWUEMEKA G. EME	AN APPRAISAL OF SUCCESSION PLANNING IN FAMILY-OWNED BUSINESSES IN NIGERIA:EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED SMEs IN LAGOS STATE, NIGERIA	1127-1136
CHUKWUEMEKA G. EM MOHAMMED BAPPAH E	SUSTAINABILITY STRATEGIES IN CONTEMPORARY BUSINESS MANAGEMENT: INTEGRATING ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES IN CORPORATE PLANNING (A STUDY OF NIGERIAN NATIONAL PETROLEUM COMPANY LTD., ABUJA, NIGERIA)	1137-1167

Abdulmalik Abdulkareem Omeiza Ibrahim Kalle Kwaifa Adekola sodiq Adetunji Sulyman Rukayat Olayinka Maryam Aladodo Saheed Ayodeji Adekola	IN VITRO DPPH RADICAL-SCAVENGING ACTIVITY OF SERAPAT (STEM BARK) AND SEMBUNG (LEAVES AND TWIGS) EXTRACTS	1168-1168
Brahim EL Houari Brahim Adnane Abdelghani El Houri Ayyoub El Mouatasim et Rachid Houça	THERMODYNAMIQUE QUANTIQUE D'UN MODELE EFFECTIF DE GRAPHENE DOPE AVEC COUPLAGE DIPOLAIRE	1169-1169
SANCHALIKA BHATTACHARJEE	RE-ARCHITECTING DISPUTE RESOLUTION: LOK ADALAT AS A GRASSROOTS CATALYST FOR EXPEDITED JUSTICE IN INDIA	1170-1170
Jean Richard Jokhu	COAL SECTOR DYNAMICS AND INDONESIA'S AGGREGATE EXPORT PERFORMANCE (1994–2024)	1171-1176
Arjela Merkuri	ALBANIA'S YOUTH GUARANTEE JOURNEY: AN INDEPENDENT YOUTH PERSPECTIVE	1177-1189
R. Devadharshini David G Gomathy E Meenatchi S Venmugilan S. Kalaivanan Dr.W.Helen	ORGANOIDS AS NEXT-GENERATION MODELS FOR DRUG TESTING: ADVANCING DRUG DISCOVERY, PREDICTIVE TOXICITY ASSESSMENT, AND PERSONALIZED MEDICINE	1190-1190
MS. SABHEEN GHOURY MUHAMMAD FAISAL	A NATIONAL BROADBAND, 5G, FIBRE-OPTIC AND NEXT-GENERATION TELECOMMUNICATIONS CAPACITY FRAMEWORK FOR INCLUSIVE DIGITAL GROWTH	1191-1205
ALHASSAN GABI USMAN ABDULLAHI GABI MUHAMMAD	SPATIAL ANALYSIS OF BIODIVERSITY HOTSPOTS USING QGIS AND REMOTE SENSING DATA IN BONNY LOCAL GOVERNMENT AREA, RIVERS STATE, In Niger Delta	1206-1206
ALHASSAN GABI USMAN ABDULLAHI GABI MUHAMMAD	THE ROLE OF GIS IN ENVIRONMENTAL DISASTER MANAGEMENT AND MATIGATION	1207-1214
Zahid Ullah Khan Zhang Hao Wang Hao Xiaodong Wang	EFFECT OF SOFT TISSUE ON NASAL AIRFLOW DURING RESPIRATORY PROFILE	1215-1215
Agnes FLORENSIA Sonny V. SUTEDJO	BUSINESS FEASIBILITY STUDY OF MARIPOSA BAKEHOUSE	1216-1227
R.Thiruchelvi P.Saravanan M.Chamundeeswari	USE OF NANOCELLULOSE FROM FRUIT WASTE IN PACKAGING APPLICATIONS: TRACKING FOOD QUALITY CHANGES THROUGH COLOUR INDICATION	1228-1228
Idris Muhammad Ladan	RENEWED HOPELESSNESS, DESTITUTION AND DECEPTION IN KYUKA LILYMJOK'S HOPE IN ANARCHY	1229-1239
Idris Muhammad Ladan Aliyu Ibrahim Dantata	LINGUISTIC INTERPRETATION AND LITERARY IMPLICATIONS OF ABUBAKAR GIMBA'S WITNESSES TO TEARS	1240-1250
Pham Duc Thuan Tran Minh Thuan Pham Thi Phuong Linh	SALT ECONOMY IN VIETNAM IN THE EARLY TWENTIETH CENTURY: FROM TRADITIONAL PRODUCTION TO THE COLONIAL MONOPOLY SYSTEM	1251-1251
Mohamed EL MORSY Laila AFIA	PFAS IN WASTEWATER TREATMENT: OCCURRENCE, FATE AND REMOVAL	1252-1252
Sinilga ČERNULIĖNĖ Edita ABALIKŠTIENĖ	THE ROLE OF PHOSPHORUS IN LONG-TERM WATER QUALITY ASSESSMENT OF LITHUANIA'S LARGEST RIVER SYSTEM	1253-1253
Abubakar Sanusi Moba	FEMALE AGENCY BETWEEN RESISTANCE AND ACCOMMODATION: POLYGAMY, WIDOWHOOD, AND WOMEN'S SOLIDARITY IN MARIAMA BÂ'S UNE SI LONGUE LETTRE	1254-1262
Hajar Sadrati Youssef Arif Younes Abbas Sanaa Sabour-Alaoui, Mohammed El idrissi	EXPLORING THE ANTIFUNGAL POTENTIAL OF THYMUS VULGARIS ESSENTIAL OIL AGAINST PENICILLIUM DIGITATUM THROUGH MOLECULAR DOCKING, MOLECULAR DYNAMICS, AND TOXICITY PROFILING	1263-1263
Omer Shujat Bhatti Muhammad Asad Ghufran Amna Jabbar Ayesha Jabbar Rameesha Khan	EMPIRE, FAITH, AND FORM: THE GOTHIC REVIVAL LEGACY OF THE CATHEDRAL CHURCH OF THE RESURRECTION, LAHORE	1264-1264

Omer Shujat Bhatti Rashid Ali Khan Muhammad Asad Ghufran Sarmad Salahud Din	EXPLORING RESTORATIVE SPATIAL DESIGN IN HOSPITALS: EXAMINING COURTYARDS AND GREEN SPACES THROUGH A BIOPHILIC DESIGN PERSPECTIVE IN SELECTED HOSPITAL SETTINGS	1265-1265
Viola Makhzoum	THE HUMAN-AI SYNERGY: REDEFINING COMMUNICATION, DECISION-MAKING, AND ORGANIZATIONAL EFFECTIVENESS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS	1266-1266
SALAMI Amadou BARRY Thierno Souleymane SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée BARRY Amadou	EFL TEACHING LEARNING AND EVALUATION IN BENIN SECONDARY SCHOOLS IN TIME OF CRISIS	1267-1267
Habib DJOURDEM	EXISTENCE, UNIQUENESS, AND STABILITY OF HYBRID FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS VIA THE MEASURE OF NONCOMPACTNESS	1268-1268
Nguyen Thi Kim Hoa	INNOVATION IN TEACHING AND ASSESSMENT IN HIGHER EDUCATION THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE (2020–2026)	1269-1269
Zubia Shah	LIVED EXPERIENCES OF MEDICAL EDUCATORS UTILIZING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR LEARNER ASSESSMENT	1270-1270
OUHSSAINE Ayoub, BOUTSOUGAME Abdelaziz, MOUSSAID Azizi	STRUCTURAL CONTROL OF PB-ZN MINERALIZATIONS IN THE EASTERN HERCYNIEN CENTRAL MASSIF (AZROU-KHÉNIFRA): MAPPING OF FAULT ZONES	1271-1271
Umar Baba Shaaba	FINANCIAL TECHNOLOGY ADOPTION AND THE GROWTH OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN NIGERIA	1272-1272
Umar Baba Shaaba	FINANCIAL RISK MANAGEMENT AND CORPORATE PERFORMANCE IN NIGERIAN COMMERCIAL BANKS	1273-1273
Anel Abdykalykova Aizhana Maldynova	FROM AI INVESTMENT TO REALISED VALUE: A SYSTEMATIC REVIEW AND VALUE-CONVERSION FRAMEWORK	1274-1289
Khairina Putri Azhari Genoveva Genoveva	WHEN MARKETING CLAIMS GO TOO FAR: THE INFLUENCE OF PERCEIVED INGREDIENT-RELATED OVERCLAIMING ON CONSUMER LOYALTY THROUGH CONSUMER TRUST	1290-1295
Irawati Sijabat Genoveva Genoveva	SCROLLING, FOMO, AND BUYING: THE INFLUENCE OF TIKTOK CONTENT ON PURCHASE DECISIONS AMONG GENERATION Z CONSUMERS OF GLAD2GLOW	1296-1308
ADDOUN Rayan Ikram	POLYNOMIAL STABILITY OF STRONGLY COUPLED HYPERBOLIC SYSTEMS WITH INTERNAL DAMPING AND IMPLICIT INFINITE-MEMORY EFFECTS	1309-1309
A. M. Alwali Ochepo Oloche Abdullahi Bala Abdullahi	INTEGRATED ERT–IP INVESTIGATION FOR TIN–LITHIUM MINERALIZATION TARGET DELINEATION IN NASARAWA–EGGON AREA, NASARAWA STATE, NIGERIA	1310-1310
NOUREDDINE BOUTERAA	EXISTENCE OF SOLUTIONS FOR NONLINEAR FRACTIONAL BOUNDARY VALUE PROBLEM DEPENDING ON MIXED BOUNDARY CONDITIONS	1311-1311
CONSTANTINESCU Richard VORONEANU-POPA Rareș-Vasile	THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL RESEARCH	1312-1312
A. M. Alwali Abdullahi Bala Abdullahi Ochepo Oloche	SUBSURFACE DELINEATION OF LEAD–ZINC MINERALIZATION USING 2D ELECTRICAL RESISTIVITY AND INDUCED POLARIZATION IMAGING IN AMERİ, SOUTHEASTERN NIGERIA	1313-1313
Zakia Mahnaz Nisar Ahmad	UNIQUE FACTORIZATION IN LEFT ALMOST GROUP RINGS	1314-1314
Ibrahim Sani Dikko	DUST EXPOSURE, ALLERGIC RHINITIS AND RESPIRATORY HEALTH DURING HARMATTAN: PRACTICAL DAILY MODIFICATIONS FOR PREVENTION AND SYMPTOM MANAGEMENT	1315-1315
Nasra Gulfam Nisar Ahmad	TWISTED PRODUCT OF LEFT ALMOST MONOIDS	1316-1316
Hanna Syafira Ir. Christine Wulandari Siti Fatimah Az-Zahra Widyasari	INTEGRATED AREA DEVELOPMENT AS A POLICY APPROACH FOR SUSTAINABLE COMMUNITY AND NATURAL RESOURCE DEVELOPMENT IN PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE, INDONESIA	1317-1328
Plamen Glogov	INVASIVE ALIEN PLANTS IN THE SOUTHERN SALTWORKS OF ATANASOVSKO LAKE, BULGARIAN BLACK SEA COAST	1329-1335

Fazal E Haq Nisar Ahmad	SECURITY ANALYSIS OF IMAGE ENCRYPTION USING LEFT ALMOST ALGEBRAIC STRUCTURES	1336-1336
Ketema Alemu Tamrat Tesfaye(professor Karthikeyan Rajan (Professor) Shalem sharew (PhD)	UNDERSTANDING CUSTOMER PREFERENCES IN SHOE SOLE DESIGN: A COMPREHENSIVE REVIEW OF MATERIAL, COMFORT, AND MARKET TRENDS	1337-1337
Zeeshan Asghar	COMPUTATIONAL MODELING AND ERROR ASSESSMENT OF METACHRONAL WAVE-DRIVEN VISCOELASTIC FLOW IN A SLIP-POROUS DIVERGENT CHANNEL	1338-1338
Roel P. Balayan	MODELING STRUCTURAL SHIFTS AND FORECASTING THE PHILIPPINE PESO–US DOLLAR EXCHANGE RATE	1339-1339
Muhammad Safdar Syed Mohsan Raza Shah	UNVEILING ADAPTIVE COMPONENTS FOR ENVIRONMENTAL HETEROGENEITY IN IPOMOEA CARNEA JACQ	1340-1340
NA'IM ALIYU Hussaini Aliyu Jibril	CRUDE OIL PRICE SHOCK AND THE NIGERIAN STOCK MARKET PERFORMANCE IN THE FACE OF COVID-19 PANDEMIC Evidence from ARDL & Granger Causality Approach.	1341-1341
Mrajji ouahiba Omar Cherkaoui	INNOVATIVE SUSTAINABLE MATERIALS FOR HIGH-PERFORMANCE THERMAL INSULATION	1342-1342
Valery V. BELAKHOV	DESIGH, RATIONAL SEARCH, SYNTHESIS AND BIOLOGICAL EVALUATION OF 2-O-ACYL-3-DIALKYL(ARYL)PHOSPHORYL DERIVATIVES OF ASCORBIC ACID (VITAMIN C)	1343-1343
Valery V. BELAKHOV	THE USE OF TETRAENE MACROLIDE ANTIBIOTIC NATAMYCIN IN AGRICULTURE AS HIGHLY EFFECTIVE ECOLOGICALLY SAFE FUNGICIDE FOR PLANT PROTECTION	1344-1344
Denisa Tare	THE ARBËRESH HERITAGE IN ALBANIA–ITALY RELATIONS: HISTORICAL TIES AND EUROPEAN INTEGRATION	1345-1355
Tanimu Adam Ibrahim Sada Ahmed Jibia	CURRICULUM AS A LEVER FOR DIGITAL GOVERNANCE: TOWARD HUMAN-CENTERED AND TRUSTWORTHY EDUCATIONAL TECHNOLOGY INTEGRATION IN NIGERIAN TERTIARY INSTITUTIONS	1356-1356
Yahaya Abubakar Aliero	EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE ON THE THERMOELECTRIC PROPERTIES OF TIN SULFUR CHALCOGENIDES: A FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION	1357-1357
Seth A. Adeniji	PRINCIPALS' MANAGERIAL RESPONSIBILITIES AND SCHOOL EFFECTIVENESS IN PUBLIC SECONDARY SCHOOLS IN OSUN STATE, NIGERIA	1358-1364
Hamza BENAALI Hmad FATIHI Abdellah TAHIR Mohamed NAJI	PREDICTING THE HYDROGEN STORAGE PERFORMANCE AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF $BEXH_3$ (X = PD, AG, CD) PEROVSKITE HYDRIDES: AN AB-INITIO APPROACH	1365-1365
Akbar Nikkhah	EMERGING ROLES OF CHRONO-NUTRITION: EARLY SMALL NIGHT MEALS?	1366-1366
Akbar Nikkhah	OPTIMIZING STARCH NUTRITION FOR ENVIRO-ECONOMIC SUSTAINABILITY: A GLOBAL RESPONSIBILITY	1367-1367
BELLIL Dassine GHAROUT-SAIT Alima DJOUDI Ferhat BELLIL Zahra MENDIL Ouidad MANSEUR Lyticia DIB-SAIT Sabrina	OVERVIEW AND EPIDEMIOLOGY OF NON-TUBERCULOUS MYCOBACTERIA ISOLATED FROM WILD ANIMALS IN AFRICA	1368-1368
Baffa Bashari Ibrahim Halima Umar Muhammad Auwalu Abdullahi	CULTIVATING ECO-CONSCIOUSNESS IN EARLY CHILDHOOD: AN EDUCATIONAL PSYCHOLOGY FRAMEWORK FOR INTEGRATING ISLAMIC ENVIRONMENTAL VALUES AND LOCAL WISDOM INTO EARLY CHILDHOOD CARE AND EDUCATION	1369-1369
Aderinsola E. Kayode Suleman Yakubu Ayobola O. Charles	INVESTIGATING THE USAGE OF TABLET COMPUTERS IN THE TEACHING AND LEARNING OF ENGLISH LANGUAGE IN NIGERIAN SECONDARY SCHOOLS	1370-1370
Oladoyin A.E Olaleye O. O Taiwo Ogunsola Prince-Victor B Ikueyemi Daniel Adeyi A.A Eyibo N. Odey Anebi	DEVELOPMENT AND PERFOMANCE EVALUATION OF AN IOT-BASED SMART LIQUEFIED PETROLEUM GAS LEVEL AND LEAKAGE DETECTION SYSTEM FOR SHIPBOARD APPLICATIONS	1371-1375

Ngueya ESSALLAMI Ahmed KHOUYA M'barka EL MOUEDDEN Mohamed DAOUDI	DESALINATION, RENEWABLE ENERGY, AND PUBLIC REGULATION: BUILDING A SUSTAINABLE LEGAL FRAMEWORK FOR WATER SECURITY	1376-1376
Roxana Mihaela Moisoiu	BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND UNIVERSAL HUMAN VALUES: THE FUTURE OF HUMANITY IN THE AGE OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION	1377-1377
Diana Šateikienė	COMPARATIVE ANALYSIS OF GREEN PORT CONCEPT IMPLEMENTATION IN THE SEAPORTS OF KLAIPĖDA, RIGA AND TALLINN	1378-1386
Mohammed Waheeb	DATES AND GLOBALLY IMPORTANT AGRICULTURAL PRODUCTS IN JORDAN: EVIDENCE FROM ARCHAEOLOGICAL EXCAVATIONS IN THE CONTEXT OF THE MEDITERRANEAN BASIN	1387-1388
Mohammed Waheeb	WATER FLOTATION AS A TOOL FOR QUALITY ASSESSMENT AND GRADING OF NIQLAOUI DATES IN JORDAN	1389-1389
Duong To Quoc THAI Duong Thi Ngoc MINH Nguyen Duy CUONG	THE DUAL MODEL OF THE BANK OF INDOCHINA AND CAPITAL MOBILIZATION MECHANISMS FOR TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN VIETNAM (1875-1945)	1390-1394
Duong To Quoc THAI Duong Thi Ngoc MINH Nguyen Trung HIEU	FROM TRADITIONAL METALLIC CURRENCY TO FIAT PIASTRE: THE ROLE OF THE BANK OF INDOCHINA IN MODERNIZING PAYMENT BEHAVIORS IN VIETNAM (1875-1930)	1395-1399
Roxana Mihaela Moisoiu	POVERTY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: LEGAL CHALLENGES, FUNDAMENTAL RIGHTS, AND SOCIAL JUSTICE IN THE DIGITAL ERA	1400-1400
Stefan STAMENOV Vanya STAMENOVA	SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS EDUCATION FOR HUMAN IMPACT AND CONSERVATION	1401-1405
Major Gheorghe Giurgiu Manole Cojocaru	THE GUT-BRAIN-SKIN AXIS IN ACNE: IMPACT OF POLENODERM	1406-1406
Mamta Sharma Sandeep K Sharma	THE SOCIAL FACE OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION: A CASE STUDY OF DELHI-NCR	1407-1407
Zineb SEKKOUT Omaima BOUDAIA Driss RADALLAH Najat EL AMRANI EL HAMSAS EL YOUBI Amal	EX VIVO ISOLATION OF MACROPHAGES FOLLOWING CARRAGEENAN-INDUCED INFLAMMATION AND EVALUATION OF THE ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY OF AN ETHANOLIC EXTRACT	1408-1408
Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE	1409-1409
Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF FUMARIA PARVIFLORA FROM THREE REGIONS OF MOROCCO	1410-1410
Bessma Hamama Samia Moustaghfir Sakina El Khattabi	PROJECT-BASED LEARNING IN EFL HIGHER EDUCATION: EXPLORING LEARNERS' EXPERIENCES AND COMMUNICATIVE DEVELOPMENT IN THE MOROCCAN CONTEXT	1411-1411
Lasha Kavelashvili Ketevan Gordeziani	FAST WATER LOSS AND CONTAMINATION DETECTION VIA DIGITAL SYSTEMS	1412-1416
Thai Cong DAN Le Minh HIEU Thach Chanh DA	DEVELOPING INTERCULTURAL COMMUNICATION COMPETENCE FOR GRADUATE STUDENTS IN TOURISM MANAGEMENT: A CASE STUDY AT A PRIVATE UNIVERSITY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM	1417-1425
Thai Cong DAN Le Minh HIEU Do Thi Xuan QUYEN	FROM THEORY TO PROFESSIONAL PRACTICE: HOW TOURISM PROFESSIONALS LEARN AND APPLY MULTICULTURAL COMPETENCE IN GRADUATE EDUCATION - A CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM	1426-1435
Fatine BENKIRANE Achraf EL IDRISSI Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH SALOUWA REMMAL ABDELLATIF TAGHZOUTI	FROM GOVERNANCE MECHANISMS TO SUSTAINABLE VALUE CREATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	1436-1436

Fatine BENKIRANE Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH EL HJAJBI Yasmine TAMNINE Larbi	FROM TRADITIONAL GOVERNANCE TO DATA-DRIVEN GOVERNANCE: TRANSFORMING PUBLIC DECISION-MAKING MECHANISMS IN THE DIGITAL ERA	1437-1437
Azaki Gideon Philip Tanko Ezekiel Dafa Samuel Terungwa; Suleiman Rahmat Okino Adeiza Isah Salihu Adamu Makanta Shaba Elijah Yanda Fadipe Labake Ajoke James Daniel	ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF ETHANOLIC AND PETROLEUM ETHER EXTRACTS OF EUPHORBIA POISONNI PAX	1438-1439
BOUHMIDE Maryame BEN EL HAJ Fouad ELHIRI Abderrazak	ENERGY SOVEREIGNTY AND ECONOMIC AUTONOMY IN MOROCCO: STRATEGIC DEPENDENCIES, PRODUCTIVE VULNERABILITIES, AND TRANSITION PATHWAYS TOWARDS 2040	1440-1440
BOUHMIDE Maryame BEN EL HAJ Fouad ELHIRI Abderrazak	MOROCCO'S TECHNOLOGICAL, DIGITAL, AND GEOSTRATEGIC SOVEREIGNTY: STRATEGIC DEPENDENCIES, NATIONAL CAPABILITIES, AND ECONOMIC AUTONOMY TOWARDS 2040	1441-1441
Farzeel Gohar Irfan Bashir Afshan Naseem Abdul Malik Yasira Waqar Almas Shoaib Aisha Sami Fariha Gul Aqila Rafique Faisal Anees Sajid Masood Farhat Munir Fareeha Sherazi	EVALUATION OF STUDENTS' SUPPORT SERVICES IN REMOTE AREA HIGHER EDUCATION INSTITUTES	1442-1442
Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AGENTS FOR AUTOMATED CLINICAL DOCUMENTATION, PATIENT TRIAGE, HEALTHCARE WORKFLOW OPTIMISATION, AND INTELLIGENT INFORMATION MANAGEMENT ACROSS COMPLEX HOSPITAL ENVIRONMENTS	1443-1452
M.NEEVATHA R.SRINIVASAN R.DEVI	MUCOADHESIVE MICROSPHERES OF FAMOTIDINE FOR GASTRO-RETENTIVE DELIVERY: DEVELOPMENT AND IN VITRO-IN VIVO EVALUATION	1453-1453
Nodar Sulashvili Nana Gorgaslidze Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili Mariam Darbaidze Nato Alavidze Marika Sulashvili Irina Imerlishvili Marina Giorgobiani Ketevani Gabunia Vira Kravchenko Olga Shapoval Igor Seniuk Nana Mdinaradze Nino Abuladze Giorgi Pkhakadze Magda Davitashvili Zaza Khachiperadze	THE INTEGRATED SCIENTIFIC APPRAISAL OF ANTICANCER VACCINE PHARMACOLOGY AND PHARMACOTHERAPY: EVIDENCE-BASED THERAPEUTIC EFFICACY, TOXICITY PROFILING, PHARMACOVIGILANCE, IMMUNOSAFETY, MOLECULAR PRECISION, THERAPEUTIC BENEFIT–RISK ASSESSMENT, CLINICAL OUTCOME OPTIMIZATION, PATIENT-CENTERED CARE, CLINICAL RESPONSE, SURVIVAL OUTCOMES, TREATMENT MONITORING AND REAL-WORLD EFFECTIVENESS	1454-1531

Nodar Sulashvili Lali Patsia Ketevani Gabunia Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili Marika Sulashvili Natia Kvizhinadze Ada (Adel) Tadevosyan Marina Giorgobiani Nana Mdinaradze Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Igor Seniuk Rajkaran Singh Tamar Okropiridze David Aphkhazava	THE COMPREHENSIVE SCIENTIFIC DISCUSSION ON PHARMACOVIGILANCE AND INTEGRATED PHARMACOLOGICAL SAFETY DETERMINATION OF MEDICATIONS USED IN ADDICTION TREATMENT: CLINICAL EVALUATION, RISK MANAGEMENT, THERAPEUTIC MONITORING, EVIDENCE-BASED CLINICAL DECISION-MAKING, PHARMACOTHERAPEUTIC OPTIMIZATION, ADVERSE DRUG REACTION PREVENTION, AND LONG-TERM PATIENT SAFETY SURVEILLANCE	1532-1639
Nodar Sulashvili Lali Patsia Ketevani Gabunia Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili Marika Sulashvili Natia Kvizhinadze Ada (Adel) Tadevosyan Marina Giorgobiani Nana Mdinaradze Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Igor Seniuk Rajkaran Singh Tamar Okropiridze David Aphkhazava	THE COMPREHENSIVE SCIENTIFIC DISCUSSION ON PHARMACOVIGILANCE AND INTEGRATED PHARMACOLOGICAL SAFETY DETERMINATION OF MEDICATIONS USED IN ADDICTION TREATMENT: CLINICAL EVALUATION, RISK MANAGEMENT, THERAPEUTIC MONITORING, EVIDENCE-BASED CLINICAL DECISION-MAKING, PHARMACOTHERAPEUTIC OPTIMIZATION, ADVERSE DRUG REACTION PREVENTION, AND LONG-TERM PATIENT SAFETY SURVEILLANCE	1640-1747
Nodar Sulashvili Lali Patsia Ketevani Gabunia Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili Marika Sulashvili Natia Kvizhinadze Ada (Adel) Tadevosyan Marina Giorgobiani Nana Mdinaradze Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Igor Seniuk Rajkaran Singh Tamar Okropiridze David Aphkhazava	THE SCIENTIFIC TALKS ON THE SYSTEMATIC THEORETICAL EXPLORATION OF ACADEMIC FREEDOM, INSTITUTIONAL AUTONOMY, AND INTELLECTUAL SELF-DETERMINATION IN HIGHER EDUCATION: CONCEPTUAL FOUNDATIONS, LEGISLATIVE PROVISIONS, GOVERNANCE STRUCTURES, IMPLEMENTATION MECHANISMS, AND CONTEMPORARY POLICY CONSIDERATIONS WITHIN INTERNATIONAL TERTIARY EDUCATION SYSTEMS—COMPARATIVE ANALYTICAL PERSPECTIVES, REGULATORY APPROACHES, AND INSTITUTIONAL RELEVANCE	1748-1851

OKUMA KÜLTÜRÜNÜN KUŞAKLARARASI AKTARIMI: OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE EBEVEYN DENEYİMLERİ

Master's Student Emine ÜNAL
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Institute of Educational Sciences, Early Childhood Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0009-0008-7396-3242
Assoc. Prof. Özge ÖZEL
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Education, Department of Early Childhood Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0000-0003-4992-483X
Assist. Prof. Elif Süreyya KANYILMAZ CANLI
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Education, Department of Early Childhood Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0000-0003-2111-7497

ÖZET

Bu araştırmada, okul öncesi dönemde çocuğu bulunan ebeveynlerin çocukluk yıllarındaki okuma deneyimlerinin günümüzdeki ebeveynlik uygulamalarına nasıl yansıdığını ve okuma kültürünün aile içinde kuşaktan kuşağa nasıl aktarıldığının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, nitel araştırma yaklaşımlarından fenomenoloji (olgubilim) deseniyle düzenlenmiştir. Araştırmaya ölçüt örnekleme yöntemiyle belirlenen, yaşları 29 ile 44 arasında değişen 12 anne ve 3 baba olmak üzere toplam 15 ebeveyn katılmıştır. Araştırmanın verileri yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla elde edilmiş ve içerik analiziyle çözümlenmiştir. Bulgular, ebeveynlerin çocukluk dönemindeki okuma deneyimlerinin aile içinde gerçekleştirilen okuma etkinlikleri, öğretmenlerin desteği ve okulun yönlendirmesiyle şekillendiğini göstermiştir. Bazı ebeveynler, çocukluklarında olumlu okuma deneyimleri yaşadıklarını belirtirken, bazıları ise bu deneyimlerin sınırlı olduğunu ifade etmiştir. Olumlu deneyimler yaşayan ebeveynlerin bunları kendi çocuklarına aktarmaya, sınırlı deneyimleri olan bazı ebeveynlerin ise geçmişte yaşadıkları eksiklikleri çocuklarına daha fazla okuma fırsatı sunarak telafi etmeye çalıştıkları görülmüştür. Ebeveynler, çocuklarına örnek olmanın yanı sıra birlikte kitap okumanın ve düzenli okuma alışkanlığı oluşturmanın önemini vurgulamıştır. Sakin bir okuma ortamı hazırlama ve etkileşimli okuma uygulamaları da katılımcıların üzerinde durduğu konular arasında yer almıştır. Katılımcılar, aile büyüklerinin anlattığı hikâye ve masalların, okuma kültürünün aktarılmasına katkı sağladığını belirtmiştir. Ebeveynler, okuma etkinlikleri sırasında karşılaştıkları güçlükleri dijital ekran kullanımı, dikkat dağınıklığı ve zaman yetersizliği olarak ifade etmiştir. Araştırma sonuçları, okuma kültürünün kuşaklararası aktarımında ebeveynlerin geçmiş deneyimleri, çocuklarına örnek olmaları, ortak okuma etkinlikleri ve aile büyüklerinden gelen katkıların önemli bir yere sahip olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Okuma kültürü, aile okuryazarlığı, kuşaklararası aktarım, okul öncesi dönem.

THE INTERGENERATIONAL TRANSMISSION OF READING CULTURE: PARENTAL EXPERIENCES DURING THE PRESCHOOL YEARS

ABSTRACT
This study aimed to explore how the childhood reading experiences of parents with preschool-aged children are reflected in their current parenting practices and how reading culture is passed down across generations within families. The study used a qualitative phenomenological design. Fifteen parents, comprising 12 mothers and 3 fathers aged between 29 and 44, were selected through criterion sampling. Data were collected through semi-structured interviews and analyzed using content analysis. The findings showed that parents' childhood reading experiences were shaped by reading activities within the family, teacher support, and school guidance. Some parents reported positive childhood reading experiences, while others described limited experiences. Parents with positive experiences sought to pass them on to their children, whereas some with limited experiences tried to make up for what they had lacked by providing their children with more reading opportunities. Parents emphasized the importance of being role models, reading together, and establishing regular reading habits. Creating a quiet reading environment and using interactive reading practices were also among the issues participants highlighted. Storytelling by older family members was described as contributing to the transmission of reading culture. Parents identified digital screen use, distraction, and a lack of time as challenges they encountered during reading activities. The findings suggest that parents' past experiences, their role as models for their children, shared reading activities, and the contributions of older family members play an important part in the intergenerational transmission of reading culture.
Keywords: Reading culture, family literacy, intergenerational transmission, preschool years.

1. GİRİŞ
Okuma kültürü; bireyin kitap, dergi ve benzeri yazılı içeriklerle sürekli, anlamlı ve eleştirel bir ilişki kurmasını ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Bilişsel gelişim, dil becerileri, kültürel aidiyet ve yaşam boyu öğrenme süreçleriyle ilişkili olan bu kültürün temelleri büyük ölçüde erken çocukluk döneminde atılmaktadır (Tok & Canatar, 76-78: 2025). Çocukların dil gelişiminin hız kazandığı, öğrenmeye yönelik ilk tutum ve alışkanlıklarının şekillendiği bu gelişim süreci, okuma kültürünün oluşumu açısından kritik bir dönem olarak değerlendirilmektedir (Tok & Canatar, 76-78: 2025). Bu süreç yalnızca okul temelli eğitimle sınırlı olmayıp; aile ortamı, ebeveynlerin okuma alışkanlıkları ve çocuklarla gerçekleştirilen karşılıklı okuma etkinlikleriyle de doğrudan ilişkilidir (Tok & Canatar, 76-78: 2025). Alan yazında aile okuryazarlığı yaklaşımı, aile içi etkileşimlerin ve ev ortamındaki okuryazarlık deneyimlerinin çocukların erken okuryazarlık becerileri ile kitaplara yönelik olumlu tutum geliştirmelerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Tok & Canatar, 76-78: 2025).
Çocuklarla gerçekleştirilen ortak okuma etkinlikleri yalnızca dil gelişimini destekleyen pedagojik uygulamalar değil; aynı zamanda duygusal paylaşım, sosyal etkileşim ve kültürel aktarım süreçlerini içeren önemli deneyimlerdir (Yurtbakan & Yurtbakan, 385-386: 2022). Özellikle karşılıklı okuma uygulamalarında ebeveyn ile çocuk arasında kurulan iletişim, çocukların soru sorma, yorum yapma ve hikâyeyi anlamlandırma süreçlerine aktif katılım sağlamalarına katkı sunmaktadır (Yurtbakan & Yurtbakan, 385-386: 2022). Gerçekleştirilen araştırmalar, karşılıklı okuma etkinliklerinin çocukların dinleme, konuşma, anlama ve hayal kurma becerilerini geliştirdiğini, aynı zamanda ebeveyn-çocuk ilişkisini güçlendirdiğini göstermektedir (Yurtbakan & Yurtbakan, 385-386: 2022). Bunun yanı sıra okuma kültürünün

oluşumunda ebeveynlerin sahip oldukları kültürel sermaye de önemli bir rol oynamaktadır (Emre, 1-2: 2017). Ailelerin eğitim düzeyi, kitapla kurdukları ilişki ve çocuk yetiştirme anlayışları çocukların erken okuryazarlık deneyimlerini doğrudan etkilemekte; kültürel sermayesi yüksek ebeveynlerin çocuklarıyla daha nitelikli okuma fırsatı buldukları belirtilmektedir (Emre, 1-2: 2017). Bu durum, okuma kültürünün aile içerisinde kuşaktan kuşağa aktarılan kültürel bir yapı olduğunu göstermektedir.

Okuma kültürünün kuşaklararası aktarımı yalnızca ebeveynlerle sınırlı olmayıp, halk arasında büyükbaba ve büyükanne olarak bilinen ebeveynler ve aile içerisindeki diğer bireyler aracılığıyla da sürdürülmektedir (Altan & Tarhan, 26-27: 2018). Özellikle büyükanneler; masallar, sözlü kültür unsurları, günlük yaşam pratikleri ve toplumsal değerler yoluyla çocukların kültürel ve eğitsel gelişimlerinde önemli rol üstlenmektedir (Altan & Tarhan, 26-27: 2018). Yapılan araştırmalar, sevgi, sorumluluk, saygı ve kültürel aidiyet gibi değerlerin kuşaklararası ilişkiler aracılığıyla aktarıldığını göstermektedir (Altan & Tarhan, 26-27: 2018). Bu bağlamda okuma kültürü, yalnızca bireysel bir beceri değil; aile hafızası ve kültürel süreklilikle ilişkili kolektif bir yapı olarak değerlendirilmektedir (Aktaş & Özden, 96-98: 2020). Öte yandan teknolojik gelişmeler, dijital medya kullanımının yaygınlaşması ve değişen aile yapısı çocukların kitapla kurdukları ilişkiyi dönüştürmektedir (Aktaş & Özden, 96-98: 2020). Özellikle dijital ekranların çocuk yaşamında daha görünür hâle gelmesi, geleneksel okuma alışkanlıklarını ve ebeveynlik sürecini de etkilemektedir (Aktaş & Özden, 96-98: 2020). Nitekim sosyo-kültürel değişim sürecinde anneliğin dönüşümünü inceleyen çalışmalar, modern yaşam koşulları ve dijitalleşmenin ebeveynlik rollerini yeniden şekillendirdiğini ortaya koymaktadır (Aktaş & Özden, 96-98: 2020).

Çocuk kültürünün kuşaklararası değişimini inceleyen araştırmalar, teknolojik gelişmelerle birlikte çocukların oyun, mekân ve kültürel deneyimlerinde önemli dönüşümler yaşandığını göstermektedir (Durmuş, 2022). Geleneksel oyunların yerini dijital içeriklerin alması ve çocukların teknolojik ile daha yoğun karşılaşması, kitapla ve sözlü kültürle kurulan ilişkinin niteliğini de etkilemektedir (Durmuş, 2022). Özellikle dijitalleşmenin yaygınlaştığı günümüzde dikkat sürelerinin değişmesi ve görsel uyaranların baskın hâle gelmesi, ailelerin çocuklara okuma kültürü kazandırılmasındaki rolünü daha önemli hâle getirmektedir (Öztürk, Öztaş & Gökmen, 1-2: 2025). Bu bağlamda erken çocukluk döneminde kültürel aktarımı ele alan çalışmalar, çocukların kültürel değerlerle erken yaşta tanışmalarının aidiyet duygusu ve kimlik gelişimi açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Öztürk, Öztaş & Gökmen, 1-2: 2025). Benzer şekilde masallar, anlatılar ve geleneksel etkinliklerin çocukların kültürel bilinç geliştirmelerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Yıldırım & Buluç, 241-242: 2022). Bu bağlamda kitaplar ve ortak okuma deneyimleri, yalnızca dil gelişimini destekleyen araçlar değil; kültürel hafızayı taşıyan ve toplumsal değerlerin aktarımını sağlayan önemli mekanizmalar olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda erken çocukluk döneminde okuryazarlık becerilerine yönelik çalışmalar artmış; özellikle aile okuryazarlığı, dijital okuryazarlık ve kültür okuryazarlığı gibi kavramlar ön plana çıkmıştır (Işıtan, 5-13: 2025). Ancak literatürde, okul öncesi dönemde okuma kültürünün kuşaklararası aktarımını ebeveyn deneyimleri bağlamında inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Tok & Canatar, 2025; Yurtbakan & Yurtbakan, 2022). Özellikle ebeveynlerin kendi çocukluk okuma deneyimlerinin, çocuklarıyla kurdukları okuma ilişkisini nasıl etkilediği ve dijitalleşme sürecinin bu aktarımı nasıl dönüştürdüğü yeterince açıklanamamıştır (Aktaş & Özden, 2020; Durmuş, 2022; Emre, 2017). Bu araştırmada ise, ebeveynlerin çocukluk dönemlerinden taşıdıkları okuma deneyimleri ile günümüzde çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerini kuşaklararası aktarım perspektifiyle inceleyerek, okuma kültürünün aile

içerisindeki sürekliliği ve dönüşümünü ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yönüyle araştırmanın erken çocukluk eğitimi, aile okuryazarlığı ve kültürel aktarım alanlarına katkı sunacağı düşünülmektedir.

1.1. Araştırmanın Problem Durumu ve Cümlesi

Okuma kültürü, bireyin kitapla sürekli, anlamlı ve yaşam boyu devam eden süreçte anlamlı bir ilişki kurmasını ifade eden çok boyutlu bir süreçtir (Bus et al., 1995; Snow et al., 1998; Whitehurst & Lonigan, 1998). Bu kültürün temelleri büyük ölçüde erken çocukluk döneminde atılmakta ve çocukların kitapla kurdukları ilk ilişkiler çoğunlukla aile ortamında şekillenmektedir (Bus et al., 1995; Snow et al., 1998; Whitehurst & Lonigan, 1998). Özellikle okul öncesi dönemde ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri ortak okuma etkinlikleri; çocukların dil gelişimleri, erken okuryazarlık becerileri ve kitaplara yönelik tutumları üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır (Bus et al., 1995; Snow et al., 1998; Whitehurst & Lonigan, 1998). Alan yazında aile okuryazarlığına ilişkin çalışmalar, ebeveynlerin okuma alışkanlıkları, ev ortamındaki okuryazarlık atmosferi ve karşılıklı okuma etkinliklerinin çocukların okuma kültürü geliştirmelerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Sénéchal & LeFevre, 2002; Tok & Canatar, 2025; Yurtbakan & Yurtbakan, 2022). Bununla birlikte okuma kültürü yalnızca bireysel bir öğrenme süreci değil; aynı zamanda kuşaklararası bir kültürel aktarım sürecidir Bourdieu, 1986; Emre, 2017). Ebeveynlerin kendi çocukluk deneyimleri, kültürel alışkanlıkları ve ailelerinden devraldıkları okuma pratikleri çocuklarına sundukları okuma deneyimlerini doğrudan etkilemektedir (Bourdieu, 1986; Emre, 2017). Ancak günümüzde dijitalleşme, değişen ebeveynlik anlayışları, teknolojik gelişmeler ve aile yapısındaki dönüşümler çocukların kitapla kurdukları ilişkiyi önemli ölçüde değiştirmektedir (Aktaş & Özden, 2020; Durmuş, 2022; Işıtan, 2025). Çocukların erken yaşlardan itibaren dijital uyaranlarla yoğun biçimde karşılaşmaları, aile içi okuma alışkanlıklarının niteliğini ve kuşaklararası aktarım biçimlerini dönüştürmektedir (Bourdieu, 1986; Emre, 2017; Lareau, 2011). Literatürde aile okuryazarlığı, ebeveyn tutumları, karşılıklı okuma ve erken okuryazarlık becerileri üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, okuma kültürünün kuşaklararası aktarımını ebeveyn deneyimleri ekseninde ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Bourdieu, 1986; Emre, 2017; Lareau, 2011). Özellikle ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinden taşıdıkları okuma deneyimlerinin, kültürel alışkanlıklarının ve ailelerinden devraldıkları okuma pratiklerinin günümüzde okul öncesi dönemdeki çocuklarına nasıl aktarıldığı; bu aktarım sürecinin dijital kültür, toplumsal değişim ve modern ebeveynlik anlayışı çerçevesinde nasıl dönüştüğü yeterince açıklanamamıştır (Bourdieu, 1986; Emre, 2017; Lareau, 2011). Bu durumun, okul öncesi dönemde okuma kültürünün aile içerisinde nasıl devam ettiği ve kuşaklar arasında nasıl aktarıldığına ilişkin ebeveyn deneyimlerinin derinlemesine incelenmesini gerekli kılmaktadır.

1.2. Araştırmanın Alt Problemleri

1. Okul öncesi dönemde çocuğu bulunan ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerine ilişkin okuma deneyimleri nasıldır?
2. Ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinde edindikleri okuma deneyimleri, günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarını ve çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerini nasıl etkilemektedir?
3. Ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri kitap okuma etkinlikleri ve okuma sürecinde oluşturdukları ortamın özellikleri nelerdir?
4. Ebeveynlere göre okuma kültürü aile içerisinde kuşaktan kuşağa nasıl aktarılmaktadır?
5. Ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları güçlükler ve bu sürece ilişkin çözüm yaklaşımları nelerdir?

1.3. Araştırma Amacı

Bu araştırmanın amacı, erken çocukluk döneminde çocuğu bulunan ebeveynlerin okuma kültürüne ilişkin deneyimlerini kuşaklararası aktarım perspektifiyle incelemektir. Araştırmada ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinden taşıdıkları okuma deneyimleri, ailelerinden devraldıkları kültürel alışkanlıklar ve günümüzde çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinlikleri ele alınarak okuma kültürünün aile içerisindeki sürekliliği ve dönüşümü ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun yanında dijitalleşme, değişen ebeveynlik anlayışları ve güncel yaşam koşullarının aile içi okuma pratikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda araştırmanın, erken dönemde çocukluk eğitimi, aile okuryazarlığı ve kültürel aktarım alanlarına kuramsal ve uygulamalı katkı sunacağı düşünülmektedir.

2. YÖNTEM

Araştırmanın bu bölümünde; araştırma modeli, felsefi zemini, araştırma katılımcıları, veri toplama ve analiz süreçleri ile geçerlilik, güvenilirliğe ilişkin açıklamalar yer almaktadır.

2.1. Araştırma Modeli

Bu araştırmada, okul öncesi dönemde ebeveynlerin okuma kültürüne ilişkin deneyimlerini kuşaklararası aktarım perspektifiyle incelemek amacıyla nitel araştırma yöntemlerinden fenomenoloji (olgubilim) deseni kullanılmıştır (Creswell & Poth, 2018). Fenomenoloji deseni, bireylerin belirli bir olguya ilişkin yaşantılarını, deneyimlerini, algılarını ve bu deneyimlere yükledikleri anlamları derinlemesine ortaya koymayı amaçlayan bir araştırma yaklaşımıdır (Creswell & Poth, 2018). Bu yaklaşımda temel amaç, bireylerin yaşadıkları deneyimlerin özünü anlamlandırmak ve söz konusu olguya ilişkin ortak anlam örüntülerini ortaya çıkarmaktır (Creswell & Poth, 2018).

Fenomenolojik araştırmalar, bireylerin günlük yaşam içerisinde deneyimledikleri ancak çoğu zaman ayrıntılı biçimde farkında olmadıkları olguların anlamlandırılmasına odaklanmaktadır (Creswell & Poth, 2018). Okuma kültürü de yalnızca bireysel bir alışkanlık değil; aile ortamında şekillenen, kültürel değerler aracılığıyla aktarılan ve kuşaklararası deneyimlerle yeniden üretilen çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilmektedir (Bourdieu, 1986; Altan & Tarhan, 2018). Bu araştırmada ise ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerine ilişkin okuma deneyimleri, ailelerinden devraldıkları kültürel alışkanlıklar ve günümüzde çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinlikleri incelenerek okuma kültürünün aile içerisindeki aktarım süreçleri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Araştırmada fenomenoloji deseninin tercih edilmesinin temel nedeni, ebeveynlerin okuma kültürüne ilişkin yaşantılarının yalnızca davranışsal boyutta değil; anlamlandırma, yorumlama ve deneyimleme süreçleri bağlamında ele alınmasının amaçlanmasıdır. Bu doğrultuda ebeveynlerin çocukluk dönemlerinden günümüze taşıdıkları okuma deneyimleri, aile içi okuma pratikleri, çocuklarıyla gerçekleştirdikleri ortak okuma etkinlikleri ve dijitalleşme sürecine ilişkin görüşleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, okul öncesi dönemde çocuğu bulunan ebeveynler oluşturmaktadır (Patton, 2015). Katılımcıların belirlenmesinde amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği kullanılmıştır (Patton, 2015). Ölçüt örnekleme, belirli özelliklere sahip bireylerin araştırmaya dâhil edilmesini sağlayan bir örnekleme yaklaşımıdır (Patton, 2015). Bu araştırmada çalışma grubunun belirlenmesinde aşağıdaki ölçütler dikkate alınmıştır:

- Okul öncesi dönemde (36-72 ay) çocuğa sahip olmak,
- Çocukla düzenli zaman geçiriyor olmak,

- Çocukla kitap okuma etkinliklerine katılım sağlamak,
- Araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul etmek.

Araştırmada farklı sosyo-ekonomik ve eğitim düzeylerinden ebeveynlere ulaşılmaya çalışılarak çeşitlilik sağlanmıştır. Böylece ebeveynlerin okuma kültürüne ilişkin deneyimlerinin farklı yaşam koşulları ve kültürel çevreler bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Nitel araştırmalarda çalışma grubu büyüklüğü, araştırma sürecinde elde edilen verilerin yeterli düzeye ulaşması ve yeni bilgilerin tekrar etmeye başlaması dikkate alınarak belirlenmektedir (Merriam & Tisdell, 2016; Patton, 2015). Bu doğrultuda araştırmada, görüşmeler sonucunda benzer ifadelerin tekrar ettiği ve yeni tema ya da kategorilerin ortaya çıkmadığı noktada veri toplama süreci sonlandırılmıştır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır (Merriam & Tisdell, 2016). Yarı yapılandırılmış görüşme formu, araştırmacıya belirli bir konu çerçevesinde veri toplama imkânı sunarken aynı zamanda katılımcıların kendi deneyimlerini ayrıntılı biçimde ifade etmelerine olanak tanımaktadır (Merriam & Tisdell, 2016).

Görüşme formunun hazırlanma sürecinde öncelikle ilgili alan yazın incelenmiş; aile okuryazarlığı, okuma kültürü, kuşaklararası aktarım, erken okuryazarlık ve ebeveyn deneyimleri üzerine gerçekleştirilen araştırmalar değerlendirilmiştir (Merriam & Tisdell, 2016; Yıldırım & Şimşek, 2021). Literatür taraması sonucunda araştırmanın amacı doğrultusunda soru havuzu oluşturulmuş ve hazırlanan sorular alan uzmanlarının görüşlerine sunulmuştur (Merriam & Tisdell, 2016; Yıldırım & Şimşek, 2021). Uzman görüşleri doğrultusunda dil, kapsam ve anlaşılırlık açısından gerekli düzenlemeler yapılarak görüşme formuna son şekli verilmiştir (Merriam & Tisdell, 2016; Yıldırım & Şimşek, 2021).

Görüşme formunda ebeveynlerin;

- Kendi çocukluk dönemlerine ilişkin okuma deneyimleri,
- Ailelerinden devraldıkları okuma alışkanlıkları,
- Çocuklarıyla gerçekleştirdikleri ortak okuma etkinlikleri,
- Kitap seçme ölçütleri,
- Dijital medya kullanımına ilişkin görüşleri,
- Okuma kültürünün aile içerisindeki aktarımına yönelik düşünceleri, ile ilgili sorulara yer verilmiştir.

2.4. Veri Toplama Süreci

Araştırma verileri, yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla toplanmıştır. Görüşmeler katılımcıların uygun oldukları zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiş ve görüşme öncesinde katılımcılara araştırmanın amacı hakkında bilgi verilmiştir. Katılımcıların gönüllü katılımı esas alınmış ve araştırma sürecinde etik ilkelere dikkat edilmiştir.

Görüşmeler sırasında katılımcıların izinleri doğrultusunda ses kayıtları, not tutma, dijital materyaller kullanılmış ve araştırma sonrasında kayıtlar yazılı metne dönüştürülmüştür. Ses kayıtlarının çözümlenmesi sürecinde katılımcı ifadeleri herhangi bir değişiklik yapılmadan veriye aktarılmıştır. Böylece verilerin özgünlüğünün korunmasına özen gösterilmiştir.

Araştırma sürecinde katılımcıların kimlik bilgilerinin gizliliği korunmuş ve gerekli görülmesi halinde katılımcılar kod isimlerle ifade edilmiştir. Görüşmelerin süresi katılımcıların cevaplarının kapsamına bağlı olarak değişmekle birlikte ortalama 30-45 dakika arasında sürmüştür.

2.5. Verilerin Analizi

Araştırmadan elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. İçerik analizi, belirli kavramlar ve temalar çerçevesinde verilerin sistematik biçimde incelenmesini sağlayan bir analiz yaklaşımıdır (Yıldırım & Şimşek, 2021). Bu yöntemde temel amaç, katılımcı görüşlerinden hareketle anlamlı kategoriler oluşturmak ve veriler arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır.

Veri analizi sürecinde öncelikle görüşme kayıtları araştırmacı tarafından ayrıntılı biçimde okunmuş ve veriler anlamlı bölümlere ayrılmıştır. Daha sonra benzer ifadeler bir araya getirilerek kodlar oluşturulmuş; oluşturulan kodlar doğrultusunda kategoriler ve temalar belirlenmiştir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, doğrudan katılımcı ifadeleriyle desteklenerek sunulmuştur.

Verilerin analizinde aşağıdaki aşamalar izlenmiştir:

1. Ses kayıtlarının yazılı metne dönüştürülmesi,
2. Verilerin ayrıntılı biçimde okunması,
3. Kodların oluşturulması,
4. Kodların benzerlik ve farklılıklarına göre kategorileştirilmesi,
5. Temaların oluşturulması,

2.6. Geçerlik ve Güvenirlik

Nitel araştırmalarda geçerlik ve güvenirlik yerine inandırıcılık, aktarılabilirlik, tutarlılık ve teyit edilebilirlik kavramları kullanılmaktadır (Lincoln & Guba, 1985). Bu araştırmada inandırıcılığı artırmak amacıyla katılımcılarla yeterli süre etkileşim kurulmuş ve görüşmeler ayrıntılı biçimde gerçekleştirilmiştir. Katılımcı ifadeleri doğrudan alıntılarla desteklenmiş ve araştırma süreci ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

Aktarılabilirliği sağlamak amacıyla çalışma grubu, veri toplama süreci ve veri analiz aşamaları ayrıntılı biçimde açıklanmıştır (Lincoln & Guba, 1985; Yıldırım & Şimşek, 2021). Tutarlılığı sağlamak amacıyla araştırma sürecindeki tüm aşamalar sistematik biçimde yürütülmüş; verilerin analizinde uzman görüşüne başvurulmuştur (Lincoln & Guba, 1985; Yıldırım & Şimşek, 2021). Teyit edilebilirlik kapsamında ise araştırma sürecinde elde edilen veriler, kodlar ve analiz süreçleri araştırmacı tarafından kayıt altına alınmıştır (Lincoln & Guba, 1985; Yıldırım & Şimşek, 2021).

3. BULGULAR

3.1. Katılımcılara İlişkin Demografik Bilgiler

Araştırmanın çalışma grubunu, erken çocukluk döneminde çocuğu bulunan toplam 15 ebeveyn oluşturmaktadır. Katılımcıların 12'si anne, 3'ü baba olup yaşları 29 ile 44 arasında değişmektedir. Katılımcıların eğitim durumlarının ilkokuldan doktora düzeyine kadar farklılık gösterdiği görülmektedir. Meslek dağılımı incelendiğinde öğretmen, hemşire, memur, esnaf ve ev hanımı gibi farklı meslek gruplarının araştırmaya dâhil edildiği belirlenmiştir. Bu durum, okuma kültürüne ilişkin ebeveyn deneyimlerinin farklı sosyo-kültürel bağlamlarda değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Katılımcıların önemli bir bölümünün lisans düzeyinde eğitime sahip olduğu, bazı katılımcıların ise ilkokul ve lise mezunu olduğu görülmektedir. Özellikle eğitim düzeyi yüksek katılımcıların çocuklarıyla daha düzenli okuma etkinlikleri gerçekleştirdikleri, ev ortamında kitaplara daha fazla yer verdikleri ve çocuklarına yönelik bilinçli okuma alışkanlıkları geliştirmeye çalıştıkları dikkat çekmektedir. Buna karşılık çocukluk döneminde aile içerisinde güçlü bir okuma kültürüyle karşılaşmayan bazı katılımcıların ise kendi çocuklarına bu eksikliği telafi etmeye

yönelik bir yaklaşım geliştirdikleri görülmektedir.

Katılımcıların büyük çoğunluğu evli bireylerden oluşmakta olup ebeveynlerin çocuklarıyla kitap okuma süreçlerinde aktif rol almaya çalıştıkları belirlenmiştir. Görüşmelerde bazı ebeveynler çocukluk dönemlerinde ailelerinden kitap okuma davranışı gözlemlediklerini ifade ederken, bazı katılımcılar ise aile içerisinde okuma alışkanlığının bulunmadığını ve bu durumun kendi okuma deneyimlerini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Bu farklılık, araştırmada ele alınan kuşaklararası aktarım olgusunun ebeveyn deneyimlerine doğrudan yansıdığını göstermektedir.

Tablo 1. Katılımcılara ilişkin demografik bilgiler

Katılımcı	Cinsiyet	Yaş	Öğrenim Düzeyi	Meslek	Medeni Durum
K1	Kadın	30	Lise	Ev Hanımı	Evli
K2	Kadın	32	Lisans	Öğretmen	Evli
K3	Erkek	41	Ortaokul	Esnaf	Evli
K4	Kadın	29	İlkokul	Ev Hanımı	Evli
K5	Kadın	37	Üniversite	Hemşire	Evli
K6	Kadın	36	İlkokul	Öğretmen	Bekâr
K7	Kadın	30	İlkokul	Öğretmen	Evli
K8	Kadın	31	Lisans	Öğretmen	Evli
K9	Kadın	35	Doktora	Memur	Evli
K10	Kadın	29	Lisans	Öğretmen	Evli
K11	Kadın	35	Doktora	Memur	Evli
K12	Kadın	31	Lisans	Öğretmen	Evli
K13	Erkek	44	Lisans	Öğretmen	Evli
K14	Kadın	40	Üniversite	Ev Hanımı	Evli
K15	Erkek	41	Ortaokul	Esnaf	Evli

Araştırmaya toplam 15 ebeveyn katılmıştır. Katılımcıların büyük çoğunluğunu anneler oluştururken, yaş aralıklarının 29 ile 44 arasında değiştiği görülmektedir. Eğitim düzeyleri ilkokuldan doktora seviyesine kadar farklılık göstermekte olup öğretmen, hemşire, memur, esnaf ve ev hanımı gibi çeşitli meslek gruplarından bireyler araştırmaya dâhil edilmiştir. Bu çeşitlilik, okuma kültürünün kuşaklararası aktarımına ilişkin deneyimlerin farklı sosyo-kültürel bağlamlarda değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

1. Alt Probleme ilişkin Bulgular; Okul öncesi dönemde çocuğu bulunan ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerine ilişkin okuma deneyimleri nasıldır?

Araştırmanın birinci alt problemi kapsamında ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerine ilişkin okuma deneyimleri incelenmiştir. Görüşmeler sonucunda katılımcıların çocukluk dönemindeki okuma deneyimlerinin aile içindeki okuma alışkanlıkları, ebeveyn modeli, öğretmen yönlendirmesi ve ev ortamındaki kültürel imkânlar doğrultusunda şekillendiği belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda "aile içi okuma deneyimleri", "okuma kültürünün sınırlı olduğu çocukluk deneyimleri" ve "öğretmen etkisi ve okul yönlendirmesi" olmak üzere üç temel tema oluşturulmuştur.

Aile İçi Okuma Deneyimleri

Bazı katılımcılar çocukluk dönemlerinde aile içerisinde kitap okuma davranışıyla karşılaştıklarını ve bu durumun kendi okuma alışkanlıklarını olumlu yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. Özellikle ebeveynlerin kitap, gazete veya dergi okuması; evde kitaplık bulunması ve aile bireyleriyle birlikte gerçekleştirilen okuma etkinlikleri katılımcıların okuma kültürü geliştirmelerinde etkili olmuştur. Katılımcılardan biri bu durumu şu şekilde ifade etmiştir:

"Özellikle annem akşamları düzenli olarak kitap ya da gazete okurdu… Küçük yaşlardan itibaren kitap okumanın normal ve gerekli bir alışkanlık olduğunu görerek büyüdüm." (K8)
Benzer şekilde başka bir katılımcı, çocukluk döneminde evlerinde kitaplık bulunduğunu ve ailesinin düzenli okuma alışkanlığına sahip olduğunu belirtmiştir:
"Babam düzenli olarak kitap ve dergi okurdu. Evimizde kitaplık bulunuyordu ve bize sık sık kitap alınırdı." (K5)
Bazı katılımcılar ise anneleriyle birlikte hikâye okuduklarını ve bu deneyimlerin hafızalarında güçlü biçimde yer ettiğini ifade etmişlerdir:
"Olumlu etkiledi, bilinçaltımda annemle okuduğumuz hikâyeler geliyor." (K6)
Bu veriler, aile içerisinde gözlemlenen okuma davranışlarının çocukların okuma kültürü geliştirmelerinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Özellikle ebeveynlerin model olduğu aile ortamlarında çocukların kitapla daha erken yaşta ve olumlu deneyimlerle karşılaştıkları görülmektedir.

Okuma Kültürünün Sınırlı Olduğu Çocukluk Deneyimleri

Bazı katılımcılar ise çocukluk dönemlerinde aile içerisinde güçlü bir okuma kültürü bulunmadığını ifade etmişlerdir. Bu katılımcılar, ev ortamında kitap okuma alışkanlığının sınırlı olması nedeniyle okuma deneyimlerinin daha zayıf kaldığını belirtmişlerdir. Katılımcılardan biri bu durumu şu şekilde ifade etmiştir:
"Hayır çok fazla yoktu… Evde kitaplık gibi bir ortam da yoktu." (K10)
Benzer şekilde başka bir katılımcı:
"Pek yoktu." (K1)
Şeklinde aile içerisinde düzenli okuma alışkanlığının bulunmadığını ifade etmiştir. Bazı ebeveynler ise çocukluk dönemlerinde yeterince desteklenmediklerini düşündükleri için günümüzde kendi çocuklarına daha fazla kitap okuma çabası içerisinde olduklarını belirtmişlerdir. Bu durum, bireylerin çocukluk dönemlerinde yaşadıkları eksikliklerin ebeveynlik pratiklerine yansıdığını göstermektedir.

Öğretmen Etkisi ve Okul Yönlendirmesi

Araştırmada dikkat çeken bir diğer veri, öğretmenlerin ve okul ortamının çocukluk dönemindeki okuma deneyimleri üzerinde önemli bir etkisinin bulunmasıdır. Özellikle aile içerisinde güçlü bir okuma kültürü bulunmayan katılımcılar, kitaplarla tanışmalarında öğretmenlerinin yönlendirici rol üstlendiğini ifade etmişlerdir. Katılımcılardan biri:
"Öğretmenlerimin yönlendirmesiyle kitaplarla tanışmaya başladım." (K10)
İfadelerini kullanırken, başka bir katılımcı ise:
"Öğretmenimizin yönlendirmesiyle okul kütüphanesinden kitap alırdım." (K2)
Şeklinde görüş belirtmiştir. Ayrıca bazı katılımcılar okul kütüphanelerinin, kitap okuma yarışmalarının ve öğretmen teşviklerinin çocukluk dönemindeki okuma alışkanlıklarını geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Bu veriler, okul ve öğretmenlerin çocukların okuma kültürü kazanmalarında aile kadar önemli bir sosyal destek mekanizması olduğunu göstermektedir.

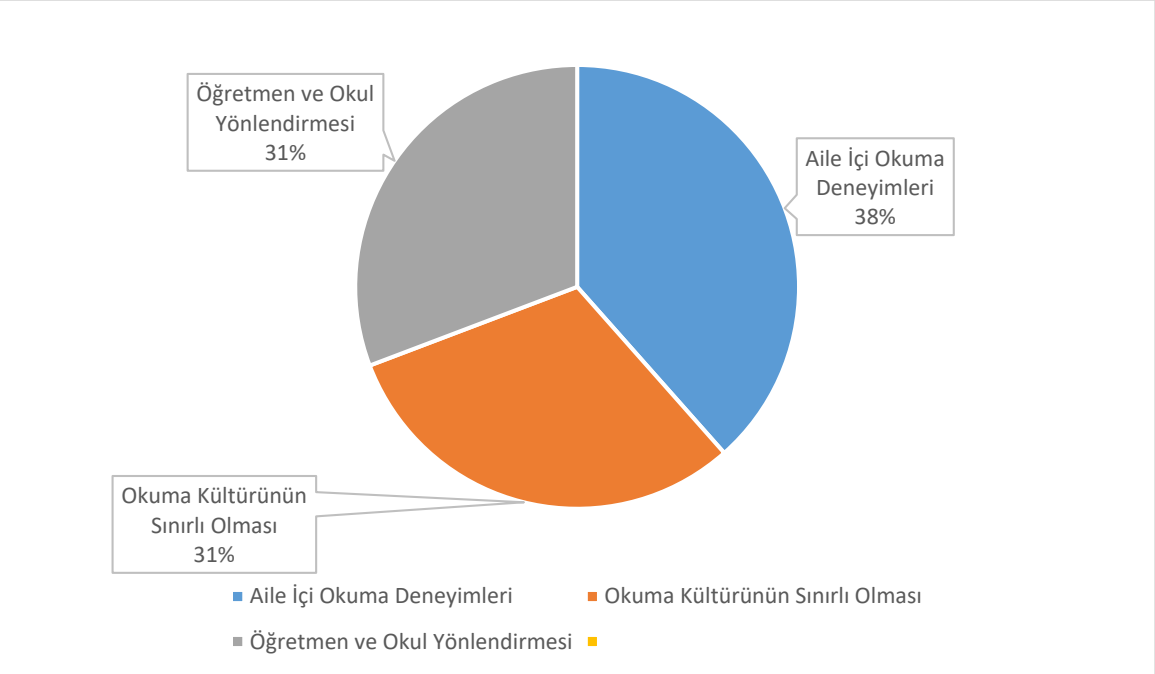
Tablo 2. Ebeveynlerin çocukluk dönemine ilişkin okuma deneyimlerine ait temalar

Tema	Kodlar	Katılımcılar
Aile İçi Okuma Deneyimleri	Evde kitaplık bulunması, ebeveynin kitap okuması, birlikte hikâye okuma, gazete/dergi okuma	K2, K5, K6, K8, K13, K14
Okuma Kültürünün Sınırlı Olduğu Çocukluk Deneyimleri	Evde kitap okunmaması, okuma alışkanlığının olmaması, kitaplık bulunmaması	K1, K3, K4, K10
Öğretmen Etkisi ve Okul Yönlendirmesi	Öğretmen teşviki, okul kütüphanesi, okuma yarışmaları, okul desteği	K2, K4, K7, K10

Araştırmanın birinci alt problemine ilişkin veriler incelendiğinde, ebeveynlerin çocukluk

dönemindeki okuma deneyimlerinin büyük ölçüde aile ortamı ve okul yaşantıları doğrultusunda şekillendiği görülmektedir. Özellikle aile içerisinde kitap okuma davranışının gözlemlendiği katılımcıların günümüzde çocuklarına yönelik daha bilinçli okuma alışkanlığı geliştirdikleri belirlenmiştir. Buna karşılık çocukluk döneminde yeterli okuma deneyimi yaşamayan katılımcıların ise bu eksikliği kendi çocuklarında gidermeye çalıştıkları dikkat çekmektedir. Ayrıca öğretmenlerin ve okul ortamının, özellikle aile içerisinde güçlü bir okuma kültürü bulunmayan bireyler açısından önemli bir yönlendirici işlev üstlendiği görülmektedir.

Grafik 1. Ebeveynlerin çocukluk dönemi okuma deneyimlerine ilişkin tema dağılımı



Grafik 1 incelendiğinde ebeveynlerin çocukluk dönemi okuma deneyimlerinde aile içi okuma alışkanlığının belirgin biçimde öne çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte öğretmen ve okul yönlendirmesinin de özellikle aile içerisinde yeterli okuma kültürü bulunmayan katılımcılar açısından önemli bir destek mekanizması olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca bazı katılımcılar çocukluk dönemlerinde sınırlı okuma deneyimi yaşadıklarını ifade ederek bu eksikliğin günümüzdeki ebeveynlik yaklaşımlarını etkilediğini belirtmişlerdir.

2. Alt Probleme ilişkin Bulgular Ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinde edindikleri okuma deneyimleri, günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarını ve çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerini nasıl etkilemektedir?

Araştırmanın ikinci alt problemi kapsamında ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinde edindikleri okuma deneyimlerinin, günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarını ve çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Görüşmeler sonucunda katılımcıların çocukluk dönemlerinde yaşadıkları okuma deneyimlerinin günümüzde çocuklarına yönelik okuma alışkanlığı, çocuk yetiştirme anlayışlarını ve aile içi okuma ortamlarını doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda "olumlu çocukluk deneyimlerinin ebeveynlik anlayışına yansıması", "çocukluk dönemindeki eksiklikleri telafi etme eğilimi" ve "ebeveynin model olma yaklaşımı" olmak üzere üç temel tema oluşturulmuştur.

Olumlu Çocukluk Deneyimlerinin Ebeveynlik Anlayışına Yansıması

Çocukluk döneminde kitaplarla olumlu ilişkiler kuran ebeveynlerin, günümüzde çocuklarına yönelik daha bilinçli okuma etkinlikleri gerçekleştirdikleri görülmektedir. Katılımcılar, çocukluk dönemlerinde kitaplarla iç içe büyümelerinin kendi ebeveynlik anlayışlarını etkilediğini ve çocuklarına da benzer alışkanlıklar kazandırmaya çalıştıklarını ifade etmişlerdir. Katılımcılardan biri bu durumu şu şekilde açıklamıştır:

"Çocukluk dönemimde kitaplarla kurduğum bağlantı, bugün çocuğuma okuma alışkanlığı kazandırma konusunda isteğimi artırıyor." (K2)

Benzer şekilde başka bir katılımcı:

"Kendi çocukluğumda kitaplarla iç içe büyümem, şimdi çocuğuma karşı yaklaşımımı etkiliyor." (K8)

İfadelerini kullanmıştır. Bazı ebeveynler ise çocukluk dönemlerinde aileleriyle gerçekleştirdikleri ortak okuma deneyimlerinin bugün kendi çocuklarıyla kurdukları ilişkilerde etkili olduğunu belirtmişlerdir:

"Olumlu etkiledi, bilinçaltımda annemle okuduğumuz hikâyeler geliyor." (K6)

Bu veriler, ebeveynlerin çocukluk dönemlerinde yaşadıkları olumlu okuma deneyimlerinin günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarını şekillendirdiğini göstermektedir.

Çocukluk Dönemindeki Eksiklikleri Telafi Etme Eğilimi

Araştırmada dikkat çeken bir diğer veri, çocukluk dönemlerinde yeterli okuma deneyimi yaşamayan ebeveynlerin kendi çocuklarına daha fazla okuma desteği sunmaya çalışmalarıdır. Katılımcılar, çocukluk dönemlerinde aile içerisinde güçlü bir okuma kültürü bulunmamasının kendilerini olumsuz etkilediğini düşündüklerini ifade etmişlerdir. Bu nedenle kendi çocuklarının benzer eksiklikler yaşamaması için daha bilinçli davrandıkları görülmektedir. Katılımcılardan biri:

"Kendi çocukluğumda yeterince kitap okunmadığını düşündüğüm için çocuğumun kitaplarla daha fazla vakit geçirmesini istiyorum." (K3)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı ise:

"Kendi çocukluğumda yeterince desteklenmediğimi düşündüğüm için çocuğuma daha fazla kitap okumaya çalışıyorum." (K4)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Bu durum, ebeveynlerin kendi çocukluk deneyimlerinden hareketle çocuklarına daha güçlü bir okuma kültürü kazandırmaya çalıştıklarını göstermektedir.

Ebeveynin Model Olma Yaklaşımı ve Ortak Okuma Etkinlikleri

Katılımcıların bir kısmı çocukların ebeveynlerini model aldığını ve ebeveynin okuma davranışının çocuk üzerinde doğrudan etkili olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle ebeveynlerin önemli bir kısmının çocuklarının yanında bilinçli biçimde kitap okudukları ve çocuklarıyla ortak okuma etkinlikleri gerçekleştirdikleri görülmektedir. Katılımcılardan biri:

"Beni kitap okurken görünce o da kendi kitaplarını getiriyor." (K4)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Çocukların anne babalarını örnek aldığını düşünüyorum." (K3)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı katılımcılar ise çocuklarıyla düzenli okuma saatleri oluşturduklarını ifade etmişlerdir:

"Genellikle akşam uyumadan önce kısa bir kitap okuma zamanı oluşturuyoruz." (K8)

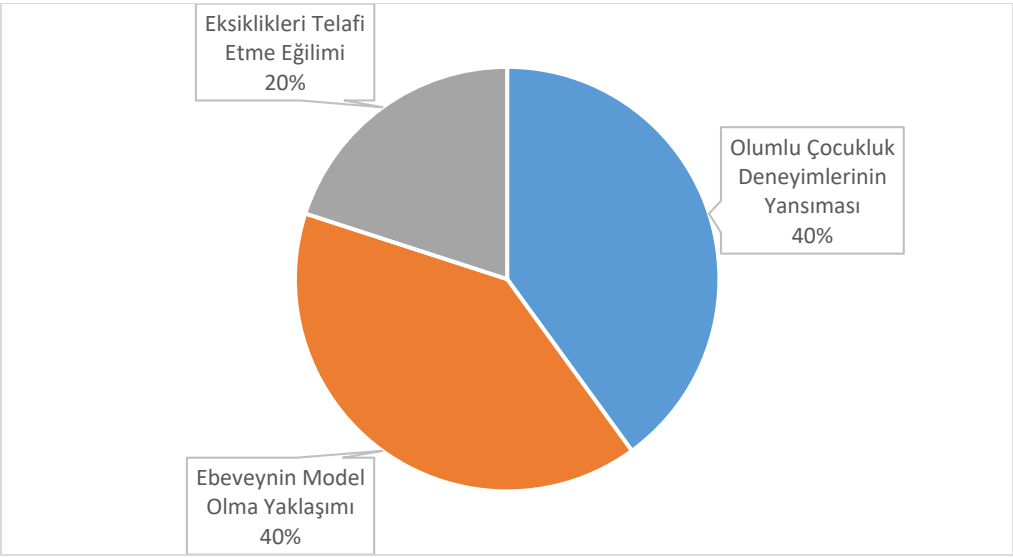
Bu veriler, ebeveynlerin kendi çocukluk deneyimlerinden etkilenerek çocuklarıyla daha planlı

ve etkileşim temelli okuma etkinlikleri gerçekleştirdiklerini göstermektedir.

Tablo 3. Ebeveynlerin çocukluk dönemi okuma deneyimlerinin günümüzdeki ebeveynlik anlayışına ve okuma etkinliklerine etkisine ilişkin temalar

Tema	Kodlar	Katılımcılar
Olumlu Çocukluk Deneyimlerinin Ebeveynliğe Yansıması	Kitap sevgisi, ortak okuma anıları, çocuğa okuma alışkanlığı kazandırma isteği	K2, K5, K6, K8, K13, K14
Eksiklikleri Telafi Etme Eğilimi	Çocuklukta okuma eksikliği, bilinçli ebeveynlik, çocuğa daha fazla destek sunma	K1, K3, K4, K10
Ebeveynin Model Olma Yaklaşımı ve Ortak Okuma Etkinlikleri	Birlikte kitap okuma, okuma saatleri oluşturma, ebeveynin örnek olması	K2, K3, K4, K5, K7, K8

Tablo 3 incelendiğinde ebeveynlerin kendi çocukluk dönemlerinde edindikleri okuma deneyimlerinin günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarını ve çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Özellikle çocukluk döneminde olumlu okuma deneyimleri yaşayan katılımcıların, kendi çocuklarına da benzer alışkanlıklar kazandırmaya çalıştıkları dikkat çekmektedir. Bunun yanında çocukluk döneminde yeterli okuma kültürüyle karşılaşmayan bazı ebeveynlerin ise bu eksikliği kendi çocuklarında gidermeye yönelik bilinçli bir yaklaşım geliştirdikleri belirlenmiştir. Ayrıca katılımcıların bir bölümünün çocukların ebeveynlerini model aldığını düşündükleri ve bu nedenle çocuklarıyla ortak okuma etkinlikleri gerçekleştirmeye önem verdikleri görülmektedir. Bu durum, okuma kültürünün aile içerisinde kuşaklararası bir aktarım süreciyle yeniden üretildiğini göstermektedir.



Grafik 2 incelendiğinde ebeveynlerin büyük bölümünün kendi çocukluk dönemlerindeki okuma deneyimlerini günümüzdeki ebeveynlik anlayışlarına ve çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerine yansıttıkları görülmektedir. Özellikle ebeveynin model olma yaklaşımı ile olumlu çocukluk deneyimlerinin belirgin biçimde öne çıktığı; çocukluk döneminde yeterli okuma deneyimi yaşamayan katılımcıların ise bu eksikliği kendi çocuklarında gidermeye çalıştıkları dikkat çekmektedir.

3. Alt Probleme ilişkin Bulgular; Ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri kitap okuma etkinlikleri ve okuma sürecinde oluşturdukları ortamın özellikleri nelerdir?

Araştırmanın üçüncü alt problemi kapsamında ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri

kitap okuma etkinlikleri ve okuma sürecinde oluşturdukları ortamın özellikleri incelenmiştir. Görüşmeler sonucunda ebeveynlerin büyük bölümünün çocuklarıyla düzenli kitap okuma etkinlikleri gerçekleştirdiği; okuma sürecinde sakin, dikkat dağıtmayan ve çocuk merkezli bir ortam oluşturmaya özen gösterdikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda "düzenli okuma rutini oluşturma", "çocuk merkezli ve sakin okuma ortamı oluşturma" ve "etkileşim temelli okuma etkinlikleri" olmak üzere üç temel tema oluşturulmuştur.

Düzenli Okuma Rutini Oluşturma

Katılımcıların önemli bir bölümü çocuklarıyla belirli zamanlarda düzenli kitap okuma etkinlikleri gerçekleştirdiklerini ifade etmiştir. Özellikle akşam saatleri ve uyku öncesi zaman dilimlerinin kitap okuma etkinlikleri için tercih edildiği görülmektedir. Katılımcılardan biri bu durumu şu şekilde ifade etmiştir:

"Her akşam düzenli kitap okuma saati yaparak uyutuyorum." (K11)

Benzer şekilde başka bir katılımcı:

"Genellikle akşam uyumadan önce kısa bir kitap okuma zamanı oluşturuyoruz." (K8)

ifadelerini kullanmıştır. Bazı ebeveynler ise her gün düzenli olmasa da haftanın belirli günlerinde çocuklarıyla okuma etkinlikleri gerçekleştirdiklerini belirtmiştir:

"Hafta sonları özellikle okuma günümüz olur." (K14)

Bu veriler, ebeveynlerin çocuklarına okuma alışkanlığı kazandırmak amacıyla aile içerisinde belirli okuma rutinleri oluşturmaya çalıştıklarını göstermektedir.

Çocuk Merkezli ve Sakin Okuma Ortamı Oluşturma

Araştırmada ebeveynlerin kitap okuma sürecinde sakin, dikkat dağıtmayan ve çocukların rahat hissedebileceği ortamlar oluşturmaya önem verdikleri görülmüştür. Katılımcılar genellikle televizyonun kapalı olduğu, sessiz ve rahat alanlarda çocuklarıyla birlikte kitap okuduklarını ifade etmişlerdir. Katılımcılardan biri:

"Telefon ya da televizyonun açık olmamasına dikkat ediyorum." (K8)

şeklinde görüş belirtirken başka bir katılımcı:

"Çocuğumun odasında sakin ve hafif loş bir ortamda okuma yaparız." (K11)

İfadelerini kullanmıştır. Bazı ebeveynler ise çocuklarının daha rahat hissetmesi için yatakta ya da çalışma odasında birlikte okuma yaptıklarını belirtmiştir:

"Sessiz bir yere geçip okuma yaparız." (K14)

Bu veriler, ebeveynlerin çocukların dikkatini kitaba yönlendirebilmek için fiziksel ortamı bilinçli biçimde düzenlediklerini göstermektedir.

Etkileşim Temelli Okuma Etkinlikleri

Katılımcıların bir bölümü kitap okuma sürecini yalnızca metni seslendirme etkinliği olarak değil; çocuklarıyla karşılıklı iletişim kurdukları etkileşimli bir süreç olarak değerlendirmiştir. Çocukların kitap seçimine katıldığı, hikâyeler hakkında sorular sorduğu ve bazı kitapların tekrar tekrar okunmasını istediği görülmektedir. Katılımcılardan biri:

"Okumamı istediği masal veya hikâyeleri kendisi seçer, ilgiyle dinler." (K11)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Resimlere dikkatle bakıyor ve hikâyeyle ilgili sorular soruyor." (K8)

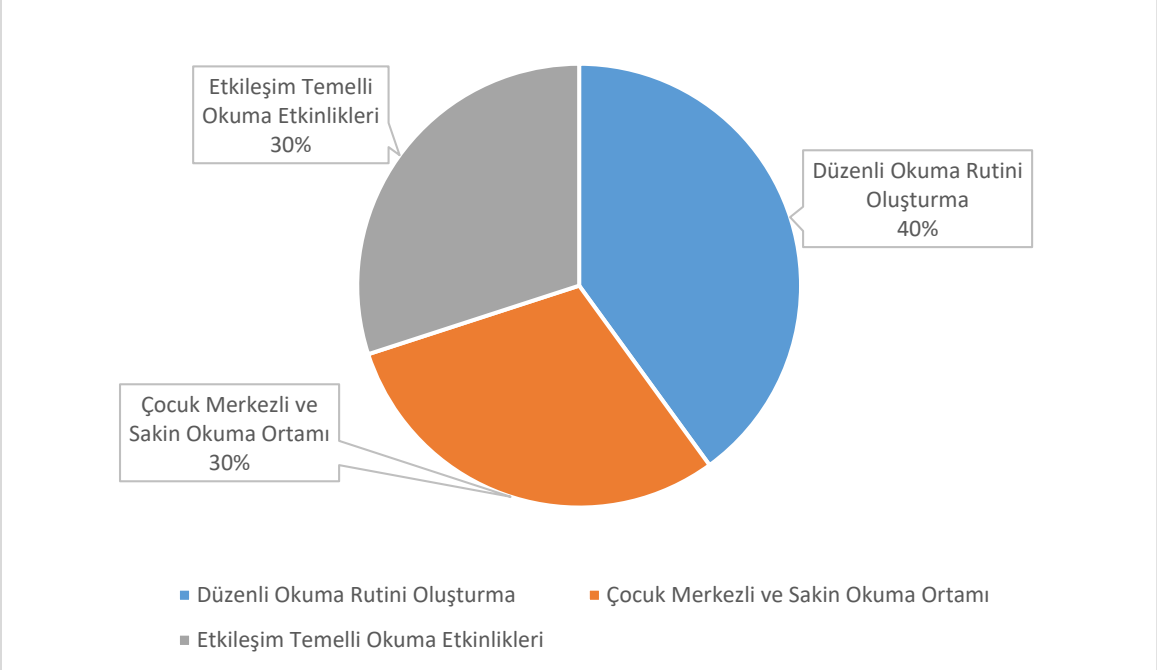
Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı ebeveynler ise çocuklarının belirli hikâyeleri tekrar tekrar dinlemek istediklerini ifade etmiştir. Bu durum, kitap okuma sürecinin çocuklar açısından yalnızca dinleme etkinliği değil; aynı zamanda aktif katılım ve etkileşim içeren bir öğrenme deneyimi olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri kitap okuma etkinlikleri ve okuma ortamına ilişkin temalar

Tema	Kodlar	Katılımcılar
Düzenli Okuma Rutini Oluşturma	Uyku öncesi okuma, akşam okuma saatleri, haftalık okuma etkinlikleri	K8, K11, K14, K13
Çocuk Merkezli ve Sakin Okuma Ortamı	Sessiz ortam, televizyonun kapatılması, çocuğun odasında okuma	K8, K11, K14
Etkileşim Temelli Okuma Etkinlikleri	Çocuğun kitap seçmesi, soru sorma, hikâyeye katılım, tekrar okuma isteği	K8, K11, K13

Tablo 4 incelendiğinde ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri kitap okuma etkinliklerinde düzenli okuma rutinleri oluşturmanın ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle uyku öncesi kitap okuma etkinliklerinin aile içerisinde yaygın bir uygulama olduğu dikkat çekmektedir. Öte yandan ebeveynlerin kitap okuma sürecinde sessiz, sakin ve dikkat dağıtmayan ortamlar oluşturmaya önem verdikleri belirlenmiştir. Ayrıca çocukların kitap seçimine katılması, hikâyeler hakkında sorular sorması ve kitap okuma sürecine aktif biçimde dâhil olması, okuma etkinliklerinin yalnızca dinleme odaklı değil; etkileşim temelli bir yapıda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu bulgular, aile içi okuma etkinliklerinin çocukların okuma kültürü geliştirmelerinde önemli bir sosyal etkileşim alanı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Grafik 2. Ebeveynlerin kitap okuma etkinlikleri ve okuma ortamına ilişkin tema dağılımı



Grafik 3 incelendiğinde ebeveynlerin çocuklarıyla gerçekleştirdikleri kitap okuma etkinliklerinde düzenli okuma rutini oluşturmanın ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle uyku öncesi gerçekleştirilen kitap okuma etkinliklerinin aile içerisinde yaygın bir uygulama olduğu dikkat çekmektedir. Öte yandan ebeveynlerin sakin ve dikkat dağıtmayan okuma ortamları oluşturmaya önem verdikleri belirlenmiştir. Ayrıca çocukların kitap seçimine katılması, hikâyeler hakkında sorular sorması ve okuma sürecine aktif biçimde dâhil olması, kitap okuma etkinliklerinin etkileşim temelli bir yapıda gerçekleştiğini göstermektedir.

1. Alt Problem Ebeveynlere göre okuma kültürü aile içerisinde kuşaktan kuşağa nasıl aktarılmaktadır?

Araştırmanın dördüncü alt problemi kapsamında ebeveynlere göre okuma kültürünün aile içerisinde kuşaktan kuşağa nasıl aktarıldığı incelenmiştir. Görüşmeler sonucunda katılımcılar, okuma kültürünün aile içerisindeki davranış modelleri, ebeveyn tutumları, ortak okuma etkinlikleri ve aile büyüklerinin etkisi aracılığıyla aktarıldığını ifade etmişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda "ebeveynin rol model olması", "aile içi ortak okuma alışkanlıkları" ve "aile büyüklerinin kültürel katkısı" olmak üzere üç temel tema oluşturulmuştur.

Ebeveynin Rol Model Olması

Katılımcıların bir kısmı çocukların ebeveynlerini gözlemleyerek davranış geliştirdiklerini ve okuma kültürünün öncelikle ebeveyn modeli aracılığıyla aktarıldığını ifade etmiştir. Özellikle çocukların anne ve babalarını kitap okurken görmelerinin kitaplara yönelik ilgilerini artırdığı belirtilmiştir. Katılımcılardan biri:

"Çocukların gördüklerini model aldığını düşünüyorum." (K8)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Aile büyükleri okursa ailede herkes okur." (K13)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı katılımcılar ise kendi çocukluk dönemlerinde ebeveynlerinden gözlemledikleri okuma davranışlarının bugün kendi ebeveynlik anlayışlarını etkilediğini ifade etmiştir:

"Babamın kitaplığı vardı, yanında okuma yapardı hep." (K14)

Bu veriler, okuma kültürünün aile içerisinde öncelikle gözlem ve model alma yoluyla aktarıldığını göstermektedir.

Aile İçi Ortak Okuma Alışkanlıkları

Araştırmada ebeveynlerin büyük bölümünün çocuklarıyla birlikte gerçekleştirilen ortak okuma etkinliklerini okuma kültürünün aktarımında önemli bir unsur olarak değerlendirdikleri görülmüştür. Katılımcılar düzenli kitap okuma saatleri oluşturmanın, birlikte hikâye okumanın ve çocuklarla kitaplar üzerine konuşmanın aile içindeki okuma kültürünü güçlendirdiğini ifade etmişlerdir. Katılımcılardan biri:

"Her akşam birlikte kitap okuma saati yapıyoruz." (K11)

Şeklinde görüş belirtirken başka bir katılımcı:

"Birlikte kitapçıya gidiyoruz ve ilgisini çeken kitapları seçmesine fırsat veriyorum." (K8)

İfadelerini kullanmıştır. Bazı katılımcılar ise aile içerisinde kitap okumanın belirli bir gelenek hâline gelmesinin çocukların okuma alışkanlığı geliştirmelerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Aile Büyüklerinin Kültürel Katkısı

Katılımcılar, büyükanne ve büyükbaba gibi aile büyüklerinin de okuma kültürünün aktarımında önemli bir role sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Özellikle geçmiş kuşaklardan aktarılan hikâyeler, masallar ve sözlü kültür unsurlarının çocukların kültürel gelişiminde etkili olduğu belirtilmiştir. Katılımcılardan biri:

"Annem bize küçükken hikâyeler anlatırdı." (K6)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Aile büyükleri çocuklara örnek olursa okuma alışkanlığı daha kolay gelişir." (K13)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Öte yandan bazı katılımcılar aile büyüklerinin okuma sürecine yeterince katılmadığını ifade ederek bu durumun eksiklik oluşturduğunu belirtmiştir.

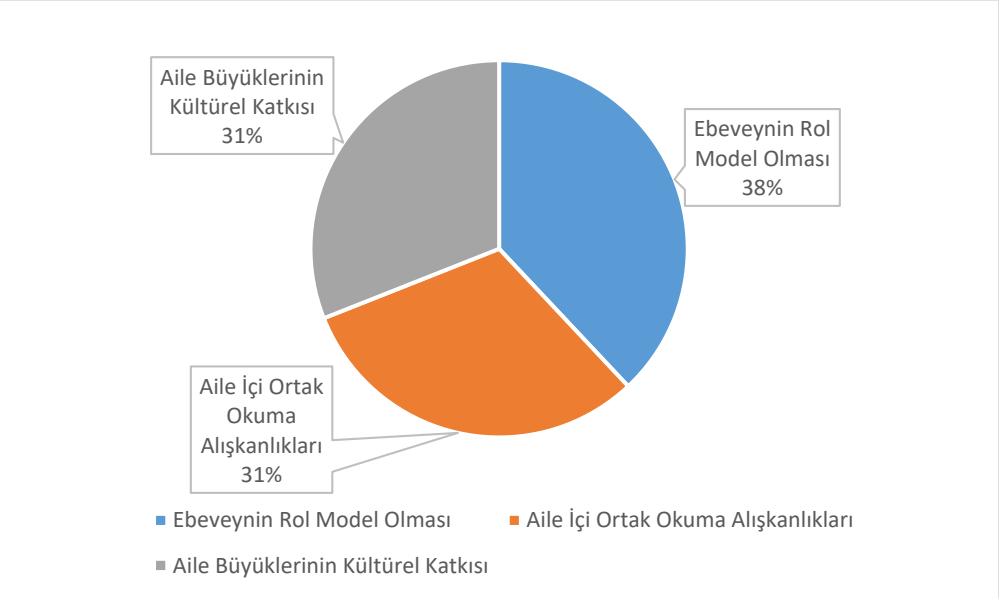
Bu veriler, okuma kültürünün aile içerisinde yalnızca ebeveynler aracılığıyla değil; aynı zamanda aile büyüklerinin katkıları, ortak okuma deneyimleri ve kültürel etkileşimler yoluyla kuşaktan kuşağa aktarıldığını göstermektedir.

Tablo 5. Okuma kültürünün aile içerisinde kuşaktan kuşağa aktarımına ilişkin temalar

Tema	Kodlar	Katılımcılar
Ebeveynin Rol Model Olması	Çocuğun ebeveyni örnek alması, ebeveynin görünür okuma davranışı, evde kitaplık bulunması	K8, K13, K14
Aile İçi Ortak Okuma Alışkanlıkları	Birlikte kitap okuma, okuma saatleri oluşturma, kitap seçimine katılım	K8, K11, K13
Aile Büyüklerinin Kültürel Katkısı	Masal anlatımı, sözlü kültür aktarımı, büyükanne/büyükbaba etkisi	K6, K13, K14

Tablo 5 incelendiğinde ebeveynlerin okuma kültürünün aile içerisinde öncelikle rol model olma davranışı aracılığıyla aktarıldığını düşündükleri görülmektedir. Öte yandan aile içi ortak okuma etkinliklerinin çocukların kitaplarla olumlu ilişki kurmalarında etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca büyükanne ve büyükbaba gibi aile büyüklerinin hikâye anlatımı ve kültürel aktarım süreçleriyle çocukların okuma kültürü geliştirmelerine katkı sunduğu ifade edilmiştir. Bu veriler, okuma kültürünün aile içerisinde sosyal etkileşim ve gözlem yoluyla kuşaktan kuşağa aktarılan kültürel bir yapı olduğunu göstermektedir.

Grafik 3. Okuma kültürünün aile içerisinde kuşaktan kuşağa aktarımına ilişkin tema dağılımı



Grafik 4 incelendiğinde ebeveynlerin büyük bölümünün okuma kültürünün aile içerisinde öncelikle rol model olma davranışı aracılığıyla aktarıldığını düşündükleri görülmektedir. Öte yandan aile içi ortak okuma etkinliklerinin ve aile büyüklerinin kültürel katkılarının da okuma kültürünün kuşaktan kuşağa aktarılmasında önemli rol oynadığı dikkat çekmektedir. Bu durum, okuma kültürünün yalnızca bireysel bir alışkanlık değil; aile içerisindeki sosyal etkileşimlerle sürdürülen kültürel bir süreç olduğunu göstermektedir.

2. Alt Problem; Ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları güçlükler ve bu sürece ilişkin çözüm yaklaşımları nelerdir?

Araştırmanın beşinci alt problemi kapsamında ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları güçlükler ve bu sürece ilişkin geliştirdikleri çözüm yaklaşımları incelenmiştir. Görüşmeler sonucunda ebeveynlerin özellikle dijital ekran

kullanımı, çocukların dikkat sürelerinin kısa olması, zaman yetersizliği ve aile içindeki okuma desteğinin sınırlı olması gibi çeşitli güçlüklerle karşılaştıkları belirlenmiştir. Bu bağlamda ebeveynlerin bu süreci desteklemek amacıyla düzenli okuma rutinleri oluşturma, çocuk merkezli kitap seçimi yapma ve etkileşimli okuma etkinlikleri gerçekleştirme gibi çözüm yolları geliştirdikleri görülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda "dijitalleşme ve dikkat dağınıklığı", "zaman yetersizliği ve günlük yaşam yoğunluğu" ve "çözüm odaklı ebeveyn yaklaşımları" olmak üzere üç temel tema oluşturulmuştur.

Dijitalleşme ve Dikkat Dağınıklığı

Katılımcıların bir bölümü çocukların dijital ekranlarla yoğun biçimde karşılaşmasının kitap okuma alışkanlığı kazanımını olumsuz etkilediğini ifade etmiştir. Özellikle **tablet, telefon ve televizyon** kullanımının çocukların dikkat sürelerini azalttığı ve kitaplara yönelik ilgilerini sınırladığı belirtilmiştir. Katılımcılardan biri:

"Telefon ve tablet ilgilerini daha çok çekiyor." (K5)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Çocuğun dikkati bazen çok çabuk dağılıyor." (K8)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı ebeveynler ise çocukların görsel uyaranlara daha fazla yönelmesinin kitap okuma sürecini zorlaştırdığını ifade etmiştir. Bu veriler, dijitalleşmenin aile içi okuma kültürü üzerinde belirgin bir etkisinin bulunduğunu göstermektedir.

Zaman Yetersizliği ve Günlük Yaşam Yoğunluğu

Araştırmada ebeveynlerin önemli bir kısmı günlük yaşamın yoğunluğu nedeniyle çocuklarıyla düzenli kitap okuma konusunda zaman zaman güçlük yaşadıklarını ifade etmiştir. Özellikle çalışan ebeveynlerin iş temposu nedeniyle düzenli okuma etkinliklerini sürdürmekte zorlandıkları görülmektedir. Katılımcılardan biri:

"Kendim için okumaya ayrılmış bir zamanım yok." (K11)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Yoğun olduğum dönemlerde süre azalabiliyor." (K8)

Şeklinde görüş belirtmiştir. Öte yandan bazı ebeveynler aile içerisindeki diğer bireylerin okuma sürecine yeterince katılmamasının da süreci zorlaştırdığını ifade etmiştir.

Çözüm Odaklı Ebeveyn Yaklaşımları

Katılımcıların bir bölümünün karşılaştıkları güçlüklere rağmen çocuklarına okuma alışkanlığı kazandırmak amacıyla çeşitli çözüm yolları geliştirdikleri görülmektedir. Özellikle düzenli okuma saatleri oluşturma, çocukların ilgisini çeken kitapları seçme ve kitap okuma sürecini eğlenceli hâle getirme gibi uygulamaların öne çıktığı belirlenmiştir. Katılımcılardan biri:

"Birlikte kitapçıya gidiyoruz ve ilgisini çeken kitapları seçmesine fırsat veriyorum." (K8)

İfadelerini kullanırken başka bir katılımcı:

"Her akşam düzenli kitap okuma saati yaparak uyutuyorum." (K11)

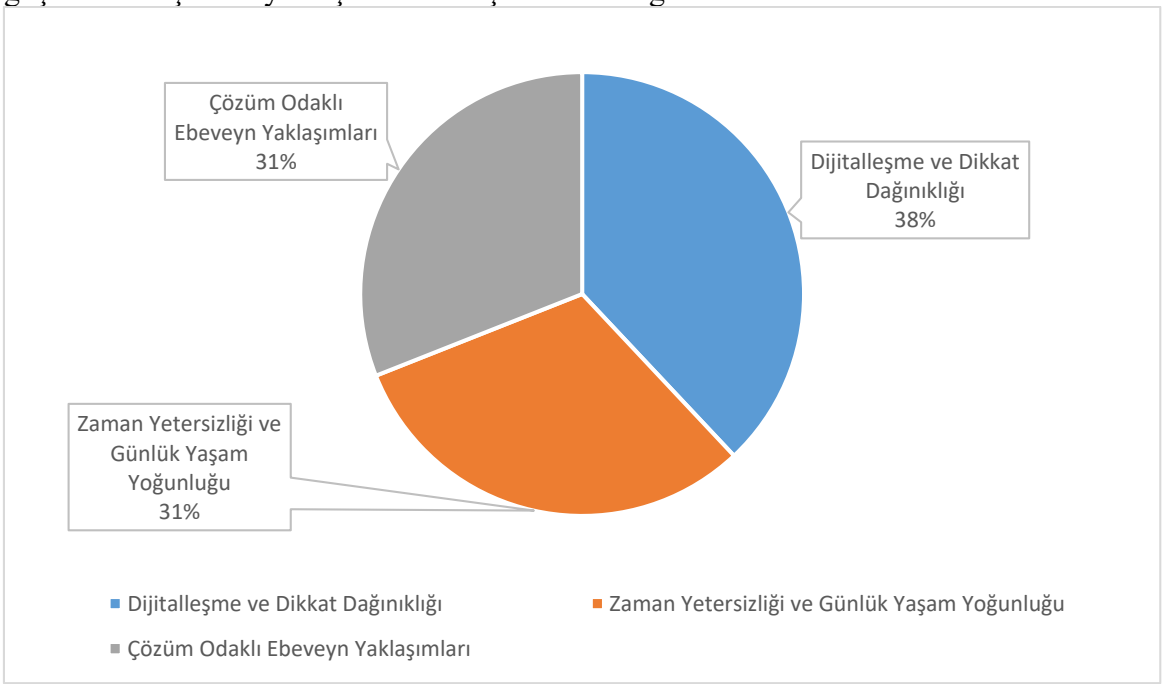
Şeklinde görüş belirtmiştir. Bazı ebeveynler ise televizyon ve telefon kullanımını sınırlandırarak çocuklarının kitaplara yönelmesini sağlamaya çalıştıklarını ifade etmiştir. Bu durum, ebeveynlerin okuma kültürü kazandırma sürecinde bilinçli ve çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirdiklerini göstermektedir.

Tablo 6. Ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları güçlükler ve çözüm yaklaşımlarına ilişkin temalar

Tema	Kodlar	Katılımcılar
Dijitalleşme ve Dikkat Dağınıklığı	Tablet/telefon kullanımı, dikkat süresinin kısalması, görsel uyaran yoğunluğu	K5, K8, K10
Zaman Yetersizliği ve Günlük Yaşam Yoğunluğu	İş yoğunluğu, düzenli zaman ayıramama, aile içi destek eksikliği	K8, K11, K14
Çözüm Odaklı Ebeveyn Yaklaşımları	Düzenli okuma saatleri, çocuk merkezli kitap seçimi, ekran süresini sınırlandırma	K8, K11, K13

Tablo 6 incelendiğinde ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde en çok dijitalleşme kaynaklı dikkat dağınıklığı ve zaman yetersizliği gibi güçlüklerle karşılaştıkları görülmektedir. Özellikle dijital ekranların çocukların ilgisini daha fazla çekmesi, kitap okuma sürecini zorlaştıran önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan ebeveynlerin önemli bir kısmının düzenli okuma saatleri oluşturma, çocukların ilgisini çeken kitapları tercih etme ve ekran kullanımını sınırlandırma gibi çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirdikleri dikkat çekmektedir. Bu veriler, ailelerin okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları zorluklara rağmen bilinçli ve sürdürülebilir uygulamalar geliştirmeye çalıştıklarını göstermektedir.

Grafik 4. Ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde karşılaştıkları güçlükler ve çözüm yaklaşımlarına ilişkin tema dağılımı



Grafik 5 incelendiğinde ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde en belirgin güçlüğün dijitalleşme ve dikkat dağınıklığı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda günlük yaşam yoğunluğu ve zaman yetersizliği de aile içi okuma etkinliklerini etkileyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Ancak ebeveynlerin büyük bölümünün düzenli okuma etkinlikleri oluşturma, çocuk merkezli kitap seçimi yapma ve ekran kullanımını sınırlandırma gibi çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirdikleri dikkat çekmektedir. Bu durum, ebeveynlerin okuma kültürünü sürdürme konusunda bilinçli bir çaba içerisinde olduklarını göstermektedir.

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, erken çocukluk döneminde çocuğu bulunan ebeveynlerin okuma kültürüne ilişkin deneyimleri kuşaklararası aktarım perspektifiyle incelenmiştir. Araştırma sonucunda ebeveynler çocukluklarındaki okuma deneyimlerinin bugün çocuklarıyla gerçekleştirdikleri okuma etkinliklerine yansıdığını ifade etmiştir. Özellikle çocukluk döneminde aile içerisinde kitap okuma davranışıyla karşılaşan ebeveynlerin, kendi çocuklarına yönelik daha bilinçli okuma alışkanlıkları geliştirmeye çalıştıkları görülmüştür. Buna karşılık çocukluk döneminde yeterli okuma kültürüyle karşılaşmayan bazı ebeveynlerin ise bu eksikliği kendi çocuklarında gidermeye yönelik telafi edici bir yaklaşım geliştirdikleri dikkat çekmiştir. Bu veri, okuma kültürünün yalnızca bireysel bir alışkanlık değil; aile içerisinde kuşaktan kuşağa aktarılan kültürel bir süreç olduğunu göstermektedir.

Araştırmada ebeveynlerin büyük bölümünün çocuklarıyla düzenli kitap okuma etkinlikleri gerçekleştirdikleri ve özellikle uyku öncesi okuma rutinleri oluşturdukları belirlenmiştir. Öte yandan ebeveynlerin kitap okuma sürecinde sakin, dikkat dağıtmayan ve çocuk merkezli ortamlar oluşturmaya özen gösterdikleri görülmüştür. Çocukların kitap seçimine katılması, hikâyeler hakkında sorular sorması ve kitap okuma sürecine aktif biçimde dâhil olması ise okuma etkinliklerinin etkileşim temelli bir yapıda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, aile içi okuma etkinliklerinin yalnızca akademik gelişimi destekleyen bir uygulama değil; aynı zamanda ebeveyn-çocuk ilişkisini güçlendiren sosyal ve duygusal bir etkileşim alanı olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın önemli verilerin biri de ebeveynlerin okuma kültürünün aktarımında rol model olmanın belirleyici olduğunu düşünmeleridir. Katılımcılar, çocukların ebeveynlerini gözlemleyerek davranış geliştirdiklerini ve aile içerisinde gözlemlenen okuma davranışlarının çocukların kitaplara yönelik tutumlarını doğrudan etkilediğini ifade etmişlerdir. Bu veri, Bandura'nın sosyal öğrenme kuramıyla örtüşmekte; çocukların davranış geliştirme süreçlerinde gözlem ve model alma mekanizmalarının etkili olduğunu göstermektedir. Öte yandan aile büyüklerinin hikâye anlatımı, sözlü kültür aktarımı ve çocuklarla kurdukları etkileşimlerin de okuma kültürünün kuşaktan kuşağa aktarılmasında önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Bu yönüyle araştırma, okuma kültürünün yalnızca okul temelli bir beceri değil; aile hafızası, kültürel süreklilik ve sosyal etkileşim süreçleriyle ilişkili kolektif bir kültürel yapı olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmada ebeveynlerin çocuklarına okuma kültürü kazandırma sürecinde çeşitli güçlüklerle karşılaştıkları da belirlenmiştir. Özellikle dijital ekran kullanımının artması, çocukların dikkat sürelerinin kısalması ve görsel uyaranlara yönelmesi ebeveynler tarafından önemli bir problem olarak ifade edilmiştir. Öte yandan günlük yaşam yoğunluğu ve zaman yetersizliği de aile içi okuma etkinliklerini olumsuz etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Ancak ebeveynlerin büyük bölümünün bu sürece ilişkin çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirdikleri; düzenli okuma saatleri oluşturma, çocuk merkezli kitap seçimi yapma ve ekran kullanımını sınırlandırma gibi uygulamalarla okuma kültürünü desteklemeye çalıştıkları görülmüştür. Bu durum, ebeveynlerin okuma kültürünün sürdürülebilirliği konusunda bilinçli bir farkındalık geliştirdiklerini göstermektedir.

Araştırma veriler alan yazındaki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Özellikle aile okuryazarlığına ilişkin araştırmalarda ebeveynlerin çocuklarla gerçekleştirdikleri ortak okuma etkinliklerinin çocukların dil gelişimi, erken okuryazarlık becerileri ve kitaplara yönelik olumlu tutum geliştirmelerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Bus et al., 1995; Snow et al., 1998; Whitehurst & Lonigan, 1998). Bu bağlamda kültürel sermaye yaklaşımını temel alan araştırmalarda da ailelerin eğitim düzeyi, kitapla kurdukları ilişki ve kültürel pratiklerinin

çocukların okuma deneyimlerini doğrudan etkilediği ifade edilmektedir (Bourdieu, 1986; Emre, 2017). Bu araştırma ise söz konusu çalışmalardan farklı olarak okuma kültürünü yalnızca erken okuryazarlık bağlamında değil; kuşaklararası kültürel aktarım perspektifiyle ele alması bakımından özgün bir katkı sunmaktadır.

Araştırmadan elde edilen veriler doğrultusunda bazı öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle ebeveynlere yönelik aile okuryazarlığı eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve özellikle erken çocukluk döneminde ortak okuma etkinliklerinin önemine ilişkin farkındalık çalışmalarının artırılması önerilmektedir. Dolayısıyla okul öncesi eğitim kurumlarında aile katılımını destekleyen okuma etkinliklerinin planlanması, ebeveynlerin çocuklarıyla daha düzenli okuma deneyimleri gerçekleştirmelerine katkı sağlayabilir. Ayrıca çocukların dijital ekran kullanımını dengeleyebilecek kitap temelli sosyal etkinliklerin artırılması ve ailelere çocuklara uygun kitap seçimi konusunda rehberlik sunulması önem taşımaktadır. Gelecek araştırmalarda ise farklı sosyo-ekonomik düzeylerden ailelerin okuma kültürü deneyimleri karşılaştırılabilir; dijitalleşmenin aile içi okuma pratikleri üzerindeki etkisi daha kapsamlı biçimde incelenebilir.

KAYNAKÇA

Aktaş, G., & Özden, M. H. (2020). Sosyo-kültürel değişim sürecinde kuşaklararasında anneliğin dönüşümü: Denizli ili örneği. *SDÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 51*, 96–120.

Altan, S., & Tarhan, S. (2018). Büyükanneden toruna: Yaşamboyu öğrenme sürecinde değer ve beceri aktarımı. Bartın Üniversitesi Eğitim Araştırmaları Dergisi, 2(1), 26-42.

Bandura, A. (1977). Social learning theory. Prentice Hall.

Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: A social cognitive theory. Prentice Hall.

Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), Handbook of theory and research for the sociology of education (pp. 241-258). Greenwood Press.

Bronfenbrenner, U. (1979). The ecology of human development: Experiments by nature and design. Harvard University Press.

Bus, A. G., Van Ijzendoorn, M. H., & Pellegrini, A. D. (1995). Joint book reading makes for success in learning to read: A meta-analysis on intergenerational transmission of literacy. Review of Educational Research, 65(1), 1-21.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). Sage.

Dunst, C. J., Simkus, A., & Hamby, D. W. (2012). Relationship between age of onset and frequency of reading and infants' and toddlers' early language and literacy development. CELLreviews, 5(10), 1-10.

Durmuş, M. (2022). *Çocuk kültürünün oyun zaman ve mekân bağlamında kuşaklararası değişiminin incelenmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Doğu Akdeniz Üniversitesi.

Emre, O. (2017). Sesli kitap okuma etkinliğinde annenin kültürel sermayesinin çocuğun okul öncesi okuryazarlık gelişimine etkisi. Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, 5(10), 1-21.

Fletcher, K. L., & Reese, E. (2005). Picture book reading with young children: A conceptual framework. Developmental Review, 25(1), 64-103.

Heath, S. B. (1983). Ways with words: Language, life and work in communities and classrooms. Cambridge University Press.

Işıtan, S. (Ed.). (2025). *Erken çocukluk döneminde 21. yüzyıl okuryazarlık becerileri*. Vizetek Yayıncılık.

Lareau, A. (2011). Unequal childhoods: Class, race, and family life (2nd ed.). University of California Press.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. Sage.
Mannheim, K. (1952). The problem of generations. In P. Kecskemeti (Ed.), Essays on the sociology of knowledge (pp. 276-322). Routledge & Kegan Paul.
Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.). Jossey-Bass.
Öztürk, S. Y., Öztaş, Y., & Gökmen, E. (2025). Okul öncesi dönemde kültürel mirasın sanatla aktarımı üzerine bir durum çalışması. *Uluslararası Güzel Sanatlar Eğitimi Araştırmaları Dergisi*.
Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods (4th ed.). Sage.
Sénéchal, M., & LeFevre, J. A. (2002). Parental involvement in the development of children's reading skill: A five-year longitudinal study. Child Development, 73(2), 445-460. https://doi.org/10.1111/1467-8624.00417
Snow, C. E. (2006). What counts as literacy in early childhood? In K. McCartney & D. Phillips (Eds.), Blackwell handbook of early childhood development (pp. 274-294). Blackwell Publishing.
Taylor, D. (1983). Family literacy: Young children learning to read and write. Heinemann.
Teale, W. H., & Sulzby, E. (1986). Emergent literacy: Writing and reading. Ablex Publishing.
Tezcan, T., & Tepetaş Cengiz, G. Ş. (2025). Examining the effect of child-parent collaborative reading activities on family competencies in establishing a reading culture in preschool children. *Okuma Yazma Eğitimi Araştırmaları, 13*(2), 249–266. https://doi.org/10.35233/oyea.1616810
Tok, Ö., & Canatar, M. (2025). Okuma kültürünün inşası: Evdeki erken okuryazarlık ortamı ve ebeveynlerin kütüphane tutumları (Çankaya ilçesi örneği). Library, Archive and Museum Research Journal, 6(2), 76-108. https://doi.org/10.59116/lamre.1704918
Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (1998). Child development and emergent literacy. Child Development, 69(3), 848-872. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1998.tb06247.x
Whitehurst, G. J., Arnold, D. S., Epstein, J. N., Angell, A. L., Smith, M., & Fischel, J. E. (1994). A picture book reading intervention in day care and home for children from low-income families. Developmental Psychology, 30(5), 679-689. https://doi.org/10.1037/0012-1649.30.5.679
Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2021). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri (12. baskı). Seçkin Yayıncılık.
Yıldırım, S., & Buluç, A. (2022). Okul öncesi eğitimde kültür aktarımı: Kazakistan örneği. *International Journal of Eurasia Social Sciences, 13*(47), 241–266. http://dx.doi.org/10.35826/ijoess.3109
Yılmaz Bursa, G., & Kunt Bayramoğlu, M. (2024). Reading beliefs and parental self-regulation skills of parents with preschool children. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 25*(3), 1367–1388. https://doi.org/10.17679/inuefd.1489348
Yurtbakan, E., & Yurtbakan, E. G. (2022). Okul öncesi öğrenci annelerinin etkileşimli okuma deneyimleri. *Ana Dili Eğitimi Dergisi, 10*(2), 385–400.

KIRSAL BÖLGELERDEKİ OKULLARDA GÖREV YAPAN OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN KARŞILAŞTIKLARI SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Master's Student Beyza DİNÇTÜRK
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Institute of Educational Sciences, Early Childhood Education15030, Burdur
ORCID ID: 0009-0001-6963-3725
Assoc. Prof. Özge ÖZEL
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Education, Department of Early Childhood Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0000-0003-4992-483X
Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Education, Department of Early Childhood Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0000-0001-5913-0553

ÖZET
Bu araştırmada kırsal bölgelerdeki okullarda görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştıkları sorunların ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma nitel araştırma yaklaşımlarından fenomenoloji (olgubilim) deseniyle düzenlenmiştir. Araştırmaya uygun örneklem yoluyla belirlenen Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin kırsal kesimlerinde görev yapan 15 okul öncesi öğretmeni katılmıştır. Araştırmanın verileri görüşme yoluyla elde edilmiş ve sonrasında betimsel analizle çözümlenmiştir. Bulgular öğretmenlerin yalnızca okulların fiziksel koşullarıyla ilgili değil sosyal, ekonomik ve yönetsel sorunlarla da karşılaştıklarını göstermiştir. Materyal eksikliği, yetersiz ısınma ve temizlik koşulları, güvenlik ve ulaşım sorunları öğretmenlerin en çok üzerinde durduğu konular olmuştur. Öğretmenler ayrıca bazı ailelerin okul öncesi eğitimin önemini yeterince bilmemesinin, okul yönetiminden bekledikleri desteği alamamalarının ve çevredeki sosyal olanakların sınırlı olmasının çalışmalarını zorlaştırdığını belirtmiştir. Okullardaki eksiklikleri kendi maddi imkânları ve çabalarıyla gidermeye çalışan öğretmenler, bu durumun zamanla mesleki motivasyonlarını olumsuz etkilediğini ifade etmiştir. Öğretmenlere göre mevcut koşullar, çocuklara sunulan öğrenme fırsatlarını da sınırlandırmakta ve eğitimin sürekliliğini güçleştirmektedir. Katılımcılar, bu sorunların çözümü için okul ödeneklerinin artırılmasını, ulaşım desteği sağlanmasını, fiziksel koşulların iyileştirilmesini, destek personeli görevlendirilmesini ve ailelere yönelik bilgilendirme çalışmalarının yapılmasını önermiştir. Araştırma sonuçları, kırsal bölgelerde okul öncesi eğitimin niteliğini artırmak için öğretmenlerin bireysel çabalarının kurumsal destekle güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.
Anahtar Kelimeler: Okul öncesi eğitim, kırsal bölgedeki okullar, öğretmen sorunları, çözüm önerileri.

PROBLEMS EXPERIENCED BY PRESCHOOL TEACHERS WORKING IN DISADVANTAGED SCHOOLS AND THEIR PROPOSED SOLUTIONS

ABSTRACT
This study aimed to identify the problems faced by preschool teachers working in rural schools and their suggestions for addressing these problems. The study used a qualitative phenomenological design. Fifteen preschool teachers working in rural areas of the Eastern

Anatolia and Southeastern Anatolia regions of Türkiye participated in the study. Participants were selected through convenience sampling. Data were collected through interviews and examined using descriptive analysis. The findings showed that teachers faced social, economic, and administrative problems alongside difficulties related to the physical conditions of their schools. Material shortages, inadequate heating and cleaning conditions, safety concerns, and transportation problems were the issues teachers most frequently emphasized. Teachers also reported that some families' limited awareness of the importance of preschool education, insufficient support from school administrators, and limited social opportunities in the surrounding area made their work more difficult. Teachers who used their own money and efforts to address shortages in their schools stated that this situation negatively affected their professional motivation over time. According to the teachers, these conditions also limited children's learning opportunities and disrupted the continuity of education. To address these problems, participants suggested increasing school funding, providing transportation support, improving physical conditions, assigning support staff, and organizing activities to inform families about preschool education. The findings suggest that teachers' individual efforts need to be strengthened through institutional support to improve the quality of preschool education in rural areas.
Keywords: Preschool education, rural schools, teacher problems, proposed solutions.

1.GİRİŞ

Okul öncesi eğitimde nitelikli bir çevrenin varlığı, çocuğun potansiyelini açığa çıkarmasında temel belirleyicidir. Ancak Türkiye'deki demografik yapı ve kentleşme oranları göz önüne alındığında, eğitim yatırımlarının dağılımındaki dengesizlikler dikkat çekmektedir. Ülkemizde yaşanan iç ve dış göçlerle birlikte toplam nüfusun %93,6'sı kentlerde yaşarken sadece %6,4'ü kırsal kesimde yaşamaktadır (TUİK, 2025). Bu durumun doğal sonucu olarak da eğitim yatırımları kent merkezlerinde yoğunlaşırken köy ve kırsal kesimlerdeki okulların yatırımları azalmaktadır.

Son yıllarda başlatılan "Köy Okulları Yaşam Merkezlerine Dönüşüyor" projesiyle birlikte kırsal kesimlerdeki okulların kalkındırılması amaçlanmıştır (MEB, 2022). Ancak bu tür makro düzeydeki projelerin sahada başarıya ulaşması, büyük ölçüde dezavantajlı bölgelerde görev yapan öğretmenlerin mesleki ve kişisel özverilerine bağlıdır. Burada öğretmenin rolü sadece bir eğitici değildir. Öğretmenler burada aynı zamanda fiziksel olanakları iyileştiren, materyal geliştiren ve sosyal destek sağlayan önemli bir rol oynamaktadır.

Kırsal kesimlerdeki okullarda görev alan öğretmenlerimiz ise bazı sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Veliler, okul yönetimi, zümre arkadaşları, okulun olanakları gibi sorunlar öğretmenlerin karşılaştığı sorunlara bazı örneklerdir (Zayimoğlu Öztürk, Kaya&Durmaz, 2016).

Öğretmenlik mesleği, zorlayıcı bu yapısı nedeniyle dikkat çekmekte; bu durum öğretmenlerde işle ilişkili stres, kaygı ve depresyon düzeylerinin artmasına yol açabilmektedir (İşli, 2023). Söz konusu psikolojik yük, öğretmenlerin mesleki performanslarını olumsuz etkileyebildiği gibi öğrencilerle kurdukları etkileşimin niteliğini de zayıflatabilmektedir (İşli, 2023).

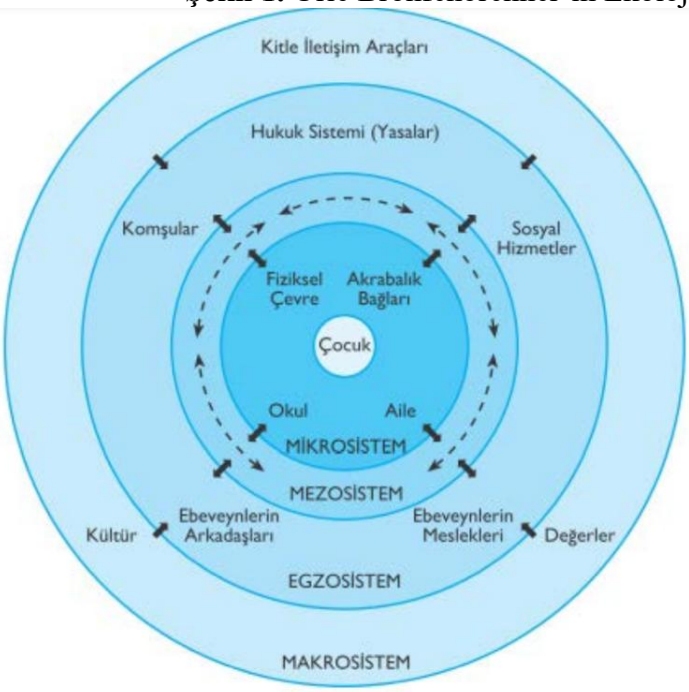
Okul öncesi eğitim, temel eğitimin ve örgün eğitimin ilk basamağıdır. Fiziksel koşulları ve eğitim programı bütüncül bir yaklaşımla tasarlanmış okul öncesi eğitim kurumları, öğrencilerin sosyal uyum, iş birliğine dayalı öğrenme ve sorumluluk bilinci gibi kritik yaşam becerilerini içselleştirmelerine olanak tanır (Şahin, 2005). İnsan gelişimindeki temel kapasitelerin tam anlamıyla açığa çıkarılabilmesi, büyük oranda erken çocukluk döneminde sağlanan bu nitelikli eğitimsel çevrenin niteliğine bağlıdır (Şahin, 2005). Çocukların eğitim ve okul ile ilk defa

tanıştığı bu adımda okulun koşul ve imkânları önemli bir yere sahiptir. Eğitimin kalitesi ise içinde bulunulan koşullardan etkilenmektedir.

Bronfenbrenner'in ekolojik sistemler kuramına göre bireyin gelişimi, iç içe geçmiş çevresel sistemlerin etkileşimiyle şekillenir (Bronfenbrenner, 1979). Mikrosistem, çocuğun doğrudan etkileşim kurduğu aile, okul ve arkadaş çevresi gibi yakın ilişkileri kapsamaktadır. Mezosistem, bireyin içinde bulunduğu mikrosistemler arasındaki ilişkileri ifade ederken; ekzosistem, çocuğun doğrudan yer almadığı ancak gelişimini etkileyen sosyal ve kurumsal yapıları içermektedir. Makrosistem ise toplumun kültürel yapısı, ekonomik düzeni, değerleri ve politikalarını kapsamaktadır. Daha sonra kurama eklenen kronosistem boyutu ise zaman içerisinde yaşanan yaşam olaylarının ve toplumsal değişimlerin gelişim üzerindeki etkisini açıklamaktadır (Bronfenbrenner, 1994).

Kuramın temel varsayımlarından biri, birey ile çevre arasındaki ilişkinin tek yönlü olmadığıdır. Buna göre çocuk çevresinden etkilenirken aynı zamanda çevresini de etkileyen aktif bir birey olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle çocuk gelişiminin anlaşılabilmesi için bireyin yalnızca bireysel özelliklerine değil, yaşadığı çevrenin sosyal, kültürel ve ekonomik özelliklerine de odaklanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Bronfenbrenner, 1979).

Şekil 1. Urie Bronfenbrenner'ın Ekolojik Sistemler Kuramı



Bu sisteme göre öğretmenlerin çalıştıkları fiziksel ortamlar, okul yönetiminin öğretmene karşı yaklaşımı, içinde bulunulan çevrenin sosyoekonomik ve sosyokültürel yapısı gibi unsurlar mesleki deneyimi doğrudan etkilemektedir. İmkânları elverişsiz okullar, öğretmenlerin hem mikro sisteminde örneğin; sınıf içi öğrencilerle kurdukları iletişim, hem de mezo ve ekzo sistemlerinde örneğin; okul-aile ilişkisi sorunlar yaşamasına sebep olabilmektedir.

du Plessis (2014), kırsal okullarda öğretmen eksikliği, teknolojik altyapı sorunları, ekonomik yetersizlikler ve ailelerin sınırlı eğitim olanakları gibi birçok yapısal problemin öğrencilerin eğitim deneyimlerini olumsuz etkilediğini ifade etmektedir.

Kırsal bölgelerdeki eğitim kurumlarının karşılaştığı yapısal sorunların çocukların akademik ve sosyal gelişim süreçlerini etkilediği belirtilmektedir. Özellikle düşük sosyoekonomik koşullar, sınırlı eğitim kaynakları ve teknolojiye erişim eksikliği çocukların eğitim fırsatlarını

sınırlandırmaktadır (Preston, 2021). Okul öncesi eğitimde kaliteyi etkileyen değişkenler arasında, kurumda bulunan materyal ve kaynaklar, yetişkin-çocuk sayısı, kurumda çalışan öğretmenler ve destek personeli gibi faktörler yer almaktadır (MEB, 2006a & MEB, 2006b). Literatüre baktığımızda kırsal kesimlerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin yaşadığı sorunlar ve bu sorunların nasıl giderileceğine dair önerileri ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu bağlamda, kırsal kesimlerdeki okullarda görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştıkları spesifik sorunları ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerini içeren araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle, kırsal kesimlerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin yaşadıkları sorunları irdelemek literatürdeki mevcut boşluğu gidermek adına önemli kabul edilebilir. Dolayısıyla bu araştırmanın temel problem durumunu kırsal kesimlerdeki okullarda görev yapan öğretmenlerin karşılaştıkları sorunlar ve bu sorunların nasıl giderileceğine yönelik öneriler oluşturmaktadır. Bu temel problem durumuna bağlı olarak da aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

1. Kırsal bölgelerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin yaşadığı sorunlar nelerdir?
2. Kırsal bölgelerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin yaşadıkları sorunlara çözüm önerileri nelerdir?

2.YÖNTEM VE BULGULAR

2.1. Araştırmanın Modeli

Bu araştırma kırsal kesimlerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştıkları sorunları derinlemesine incelemek ve çözüm önerileri sunmak amacıyla fenomenoloji (olgubilim) modeline dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Merriam'a göre bütün nitel çalışmaların temelinde fenomenoloji vardır (Merriam, 2023). Fenomenoloji, deneyimlenen olguların özsel anlamını doğrudan yaşantıdan hareketle betimlemeyi ve yorumlamayı amaçlayan; bireyin dünyayı nasıl algıladığını, anlamlandırdığını ve deneyimlediğini inceleyen bir nitel araştırma yaklaşımıdır (van Manen, 2023). Araştırmanın konusu olan öğretmenlerin yaşadığı sorunlar direkt olarak bireyin yaşantısını ele alan bir durumdur. Deneyimleri ele aldığımız bu çalışmada fenomenolojik yaklaşım uygun bir yöntem olarak seçilmiştir.

2.2. Çalışma Grubu

Bu araştırmanın katılımcılarını Doğu Anadolu Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin köy ve kırsal kesimlerinde görev yapan 15 okul öncesi öğretmeni oluşturmaktadır. Bu araştırmanın çalışma grubu uygun örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Uygun örnekleme koşullara göre değişkenlik gösterir. Örneğin; maddi imkânlara, konunun uygunluğuna, yer ve zamana göre uyarlanır (Merriam, 2023).

2.3. Veri Toplama Araçları

Bu araştırmanın verileri görüşme yöntemiyle toplanmıştır. Görüşme soruları literatüre bağlı oluşturulmuştur. Araştırmaya dâhil olmayan iki uzman görüşü alınmıştır. Alınan uzman görüşleri doğrultusunda görüşme formundan üç soru çıkartılıp forma dört yeni soru eklenmiştir.

2.4. Verilerin Analizi

Bu araştırmada, kırsal kesimlerdeki okullarda çalışan okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştıkları sorunları ve çözüm önerilerini doğrudan aktarmak ve elde edilen bulguları önceden belirlenen teorik çerçeveye göre sunmak amacıyla nitel veri analizi yöntemlerinden betimsel analiz benimsenmiştir. Betimsel analiz; toplanan verilerin araştırma sorularının ortaya

koyduğu temalara göre organize edilmesini, doğrudan alıntılarla desteklenerek betimlenmesini ve ardından bu betimlemelerin neden-sonuç ilişkileri bağlamında yorumlanmasını içeren bir yaklaşımdır (Merriam, 2023; Yıldırım & Şimşek, 2021).

2.5. Katılımcıların Demografik Özelliklerine İlişkin Bulgular

Bu bölümde, araştırmaya dahil olan okul öncesi öğretmenlerinin yaş, cinsiyet, mesleki kıdem, mevcut okuldaki görev süreleri ve görev yaptığınız yerleşim yerlerine yönelik demografik dökümleri ayrı tablolar halinde analiz edilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Yaş Dağılımı

Yaş Grubu	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
25-27 Yaş	k2, k6, k10, k11, k13, k14, k15	7
28-30 Yaş	k1, k3, k4, k9, k12	5
31 Yaş ve Üzeri	k5, k7	2
Belirtmeyen	k8	1
Toplam		**15**

Tablo 1 verileri incelendiğinde, kırsal kesimlerdeki okullarda görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin ağırlıklı olarak genç yaş grubunda toplandığı göze çarpmaktadır. Katılımcılardan yedi kişi 25-27 yaş aralığında yer alırken, beş kişi 28-30 yaş grubundadır. 31 yaş ve üzerinde olan öğretmenlerin sayısı ise 2 kişidir. Bu durum, dezavantajlı ve kırsal bölgelerdeki okullarda genellikle mesleğinin ilk yıllarında olan genç ve dinamik öğretmen kadrosunun istihdam edildiğine işaret etmektedir.

Tablo 2. Katılımcıların Cinsiyet Dağılımı

Cinsiyet	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
Kadın	k2, k4, k5, k6, k7, k8, k10, k11, k12	9
Erkek	k1, k3, k9, k13, k14, k15	6
Toplam		**15**

Tablo 2'de araştırmaya katılan öğretmenlerin cinsiyet dağılımı yer almaktadır. Bulgulara göre katılımcılardan 9 kişi kadın, 6 kişi ise erkek öğretmendir. Okul öncesi eğitim kademesinde genel olarak kadın öğretmen istihdamının yoğun olduğu bilinmekle birlikte, bu çalışma grubunda erkek öğretmenlerin de %40 gibi yüksek ve kayda değer bir oranda elverişsiz koşullara sahip kırsal bölgelerde görev üstlendiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Mesleki Kıdem Dağılımı

Mesleki Kıdem (Yıl)	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
3 Yıl	k1, k2, k4, k6, k7, k8, k10, k13, k14, k15	10
4 Yıl	k3, k11, k12	3
5 Yıl ve Üzeri	k5, k9	2
Toplam		**15**

Tablo 3'e göre katılımcı öğretmenlerin mesleki deneyim süreleri incelendiğinde, büyük çoğunluğunun 3 yıllık mesleki kıdeme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Meslekte 4 yılını tamamlayanlar 3 kişi, 5 yıl ve üzerinde kıdemi olanlar ise 2 kişidir. Bulgular, elverişsiz koşullarla mücadele eden bu okullardaki öğretmenlerin mesleki yaşamlarının henüz başında, adaylık süreçlerini yeni tamamlamış kişilerden oluştuğunu ve benzer bir mesleki gelişim düzeyini paylaştıklarını ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Mevcut okuldaki görev süreleri

Görev Süresi (Yıl)	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
1 Yıl	k1, k10	2
2 Yıl	k12	1
3 Yıl	k2, k3, k4, k6, k7, k8, k13, k14, k15	9
4 Yıl ve Üzeri	k5, k9, k11	3
Toplam		**15**

Öğretmenlerin şu an görev yaptıkları kurumdaki yerleşiklik durumlarını gösteren Tablo 4 incelendiğinde, katılımcılardan 9 kişinin mevcut okullarında 3 yıldır görev yapmakta olduğu görülmektedir. Okulda ilk yılını geçiren kişi sayısı 2, 4 yıl ve üzeri süredir aynı kurumda kalanlar ise 3 kişidir. Bu veriler, öğretmenlerin büyük bir kısmının söz konusu dezavantajlı okul ve çevre koşullarını en az 3 dönem boyunca kesintisiz deneyimlediklerini, dolayısıyla aktardıkları görüşlerin anlık histen ziyade yerleşik bir tecrübeye dayandığını doğrulamaktadır.

2.6. Bölge ve Okul Koşullarına İlişkin Bulgular

Öğretmenlerin görev yaptıkları okulun fiziksel, coğrafi ve genel çevre altyapısını nasıl tanımladıklarına yönelik betimsel analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Tablo 5. Okulun bulunduğu bölge ve koşullar

Temalar	Katılımcı Kodları	Frekans(f)
Kısıtlı İmkanlar ve Altyapı Yetersizliği	k2, k3, k4, k5, k6, k7, k9, k11, k12, k13, k15	11
Sosyoekonomik/Kültürel Dezavantaj ve Dil Bariyeri	k8, k10, k12, k13, k14	5
Sert İklim Koşulları ve Coğrafi Zorluklar (Kış/Yol)	k2, k7, k11, k12	4
İzolasyon ve Unutulmuşluk Hissi	k1, k12	2

Tablo 5'e göre, okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştığı en sık belirtilen bölgesel sorun "Kısıtlı İmkanlar ve Altyapı Yetersizliği" teması altında toplanmaktadır. Öğretmenler sınıfların kötü durumda olduğunu, fiziki alanların yetersizliğini ve her işi kendilerinin yapmak zorunda kaldığını ifade etmişlerdir. İkinci öne çıkan tema "Sosyoekonomik/Kültürel Dezavantaj ve Dil Bariyeri" olmuştur. Katılımcılar (özellikle K10 ve K12) ailelerin mevsimlik işçi olduğunu, maddi-manevi ilgisizlik gösterdiklerini ve çocukların Türkçe bilmemesi sebebiyle eğitime başlamakta zorlandıklarını aktarmışlardır. "Sert İklim Koşulları" teması altında ise suların donması ve yolların kapanması gibi temel yaşam krizleri dile getirilmiştir.

2.7. Eğitim Materyallerine Erişim ve Çözüm Önerilerine İlişkin Bulgular

Öğretmenlerin eğitim-öğretim sürecinde ihtiyaç duydukları materyallere (oyuncak, sanat malzemesi vb.) erişim durumları ve ürettikleri çözümler analiz edilmiştir.

Tablo 6. Materyal erişim durumu

Materyal Erişimi	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
Zorluk Yaşıyor	k1, k2, k3, k4, k5, k6, k7, k8, k9, k10, k12, k13, k14	13
Zorluk Yaşamıyor	k11, k15	2

Tablo 6'daki bulgular, elverişsiz okullardaki kaynak sıkıntısını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Öğretmenlerin on üçü materyal erişiminde doğrudan ve ciddi zorluklar

yaşadıklarını beyan etmişlerdir. Bakanlık ödeneklerinin yetersiz kalması veya köylere ulaşmaması, okullardaki mevcut oyuncakların kırık/kullanılamaz olması bu durumun gerekçesi olarak sunulmuştur.

2.8. Mesleki Motivasyona İlişkin Bulgular

Kısıtlı imkânların, öğretmenlerin mesleğe yönelik tutum ve içsel motivasyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 7. Kısıtlı İmkanların Mesleki Motivasyona Etkisi

Motivasyon Durumu	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
Olumsuz Etkileniyor (Tükenmişlik/Yorulma)	k2, k3, k4, k5, k7, k8, k9, k10, k11, k12, k13, k14, k15	13
Etkilenmiyor veya Olumluya Çeviriyor	k1, k6	2

Tablo 7 incelendiğinde, elverişsiz koşulların öğretmen motivasyonunu büyük çoğunlukta olumsuz etkilediği görülmektedir. Öğretmen ifadelerinde yer alan "ilk görev yılındaki meslek aşkım yok", "meslekten soğutuyor", "burada öğretmenlik yaptığımı düşünmüyorum" şeklindeki ifadeler, yaşanan psikolojik yıpranmanın boyutunu göstermektedir. Sınıfların soğuk olması, internetin olmaması ve planlanan etkinliklerin materyalsizlikten ötürü iptal edilmesi motivasyon düşüşünün temel sebepleri arasındadır. Yalnızca K6, bu durumun zorlayıcı olsa da yaratıcılığı artırdığını belirterek olumlu bir duruş sergilemiştir.

2.9. Temel İhtiyaçların Karşılanma Durumu

Okulların en temel işletim mekanizmaları olan fiziksel korunma ve hijyen konularına dair bulgular ayrıştırılarak sunulmuştur.

Tablo 8. Isınma yöntemleri

Isınma Türü	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
Kömür / Odun Sobası	k2, k3, k4, k7, k9, k11, k12, k13	8
Kalorifer / Doğalgaz	k1, k8, k15	3
Elektrikli Isıtıcı / Soba	k5, k10	2
Belirtmeyen	k6, k14	2

Tablo 8'e göre, okulların yarısından fazlasında ısınma hala geleneksel "Kömür/Odun Sobası" ile sağlanmaktadır. Öğretmenler soba yakma işini personel olmadığında kendilerinin üstlendiğini, kömürün zamanında gelmediğini ve kış aylarında sınıfın yeterince ısınmadığını belirtmişlerdir. Elektrikli ısıtıcı kullananlar ise sık yaşanan elektrik kesintileri nedeniyle mağdur olduklarını ifade etmişlerdir. Bu durum çocukların öğrenme süreçlerini doğrudan sekteye uğratmaktadır.

Tablo 9. Temizlik hizmetlerinin sağlanması

Temizlik Yöntemi	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
İşkur Personeli (Dönemlik/Düzensiz)	K1, k2, k3, k4, k7, k8, k9, k10, k11, k12, k15	11
Öğretmenin Kendisi Tarafından	k5, k6, k10, k12, k14	5
Veli Desteği İle	k13	1

Tablo 9'da görüldüğü üzere, temizlik işleri ağırlıklı olarak İşkur personeli aracılığıyla

yürütülmektedir. Ancak öğretmenler bu personellerin devamlılığının olmadığını ve dönemlik geldiklerini sıklıkla vurgulamışlardır. Personel bulunmayan veya gelmeyen günlerde öğretmenlerin bizzat temizlik malzemelerini kendi paralarıyla alarak sınıfları temizledikleri saptanmıştır.

Tablo 10. Güvenlik önlemlerinin durumu

Güvenlik Durumu	Katılımcı Kodları	Frekans (f)
Hiçbir Önlem Yok / Yetersiz	k2, k4, k5, k7, k8, k10, k11, k12, k14, k15	10
Kamera Önlemi Var (Çalışıyor/Çalışmıyor)	k3, k4, k9	3
Belirtmeyen	k6, k13	2
Kadrolu Bekçi / Güvenlik Var	k1	1

Tablo 10, elverişsiz okullardaki en zayıf halkanın güvenlik olduğunu göstermektedir. Öğretmenlerin çoğunluğu okullarında hiçbir güvenlik önleminin bulunmadığını açıkça beyan etmiştir. Kamera olduğunu söyleyen katılımcıların bir kısmı ise kameraların çalışmadığını eklemiştir. K10 kodlu katılımcının "Herkes okula istediği gibi girip çıkıyor, jandarma/polis uzak" ifadesi, kırsaldaki öğretmenlerin fiziksel açıdan kendilerini korumasız hissettiklerinin açık bir göstergesidir.

2.10. Fiziki Koşulların Çocukların Gelişimi ve Öğrenme Süreçlerine Etkisi

Okulun yetersiz fiziki altyapısının okul öncesi çocukların gelişim alanlarına yansımaları temalaştırılmıştır.

Tablo 11. Fiziki yetersizliklerin çocuklar üzerindeki etkisi

Belirlenen Etki Alanları	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Somutlaştırma ve Motor Beceri Gelişimi Engelleniyor	k3, k8, k9, k10, k15	5
Olumsuz Etkilenmediğini Düşünenler (Çocukların Normali Bu)	k2, k4, k5, k11	4
Odaklanma Problemleri (Hijyen/Fare/Soğuk Nedeniyle)	k6, k12	2
Devamsızlık ve Eğitimin Kesintiye Uğraması (Kış Şartları)	k7, k13	2
Motivasyon Eksikliği ve Değersizlik Hissi	k1, k14	2

Tablo 11 incelendiğinde, fiziki koşulların çocukların gelişimini olumsuz etkilediğini savunan öğretmenler, özellikle okul öncesi dönem için kritik olan somutlaştırma ve motor beceri eksikliğine vurgu yapmışlardır. Materyal olmadığı için fen deneyleri yapılamamakta, çocukların kas gelişimini destekleyecek alanlar bulunmamaktadır. Bazı öğretmenler, kış koşullarına bağlı devamsızlığın çocukların okula uyumunu ve sosyal etkileşimlerini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Öte yandan bazı öğretmenler, çocukların zaten bu coğrafyanın elverişsizliğine alışık büyüdüklerini, bu yüzden durumun onların psikolojilerini doğrudan etkilemediğini "normali bu" sözleriyle ifade etmişlerdir.

2.11. Okul Yönetimi ile İlişkiler

Kırsal kesimlerdeki okullarda görev yapan öğretmenlerin okul idaresi ile kurdukları profesyonel ilişkiler ve karşılaştıkları yönetsel engeller derlenmiştir.

Tablo 12. Okul yönetimi ile yaşanan spesifik sorunlar

İlişki / Sorun Teması	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Müdür Yetkili Sistem (İş birliği / Az Kişi Olma Avantajı)	k3, k7, k9, k11, k12	5
Dayanışma ve Sorunsuz İlişki (Olumlu)	k1, k4, k6, k12, k13	5
İletişimsizlik ve Profesyonel Olmayan Yönetim	k2, k8, k10, k15	4
Okul Öncesi Alanına Yönelik Bilgisizlik ve Göz Ardı Edilme	k5, k10, k15, k14	4

Tablo 12 incelendiğinde, köy okullarının yapısı gereği müdür yetkili öğretmenlik sisteminin yaygın olduğu görülmektedir. Bu durum az sayıda öğretmen arasında yardımlaşmayı artırsa da evrak işlerinde aksamalara yol açabilmektedir. Yaşanan en spesifik yönetsel sorun, ilkokul bünyesinde çalışan ana sınıflarının idareciler tarafından alan dışı olmalarından dolayı bilinmemesi ve göz ardı edilmesi olarak belgelenmiştir. Katılımcılar (örneğin K5 ve K15) taleplerinin dikkate alınmadığını veya anasınıfı bütçelerinin kısıldığını aktarmışlardır.

2.12. Velilerin Eğitime Bakış Açısı ve İletişimleri

Araştırmanın son boyutunda, ekolojik sistem kuramının mezosistem halkasını oluşturan okul-aile etkileşimine dair veriler tablolaştırılmıştır.

Tablo 13. Velilerin eğitime ve okul öncesine bakış açısı

Veli Tutumu / Algısı	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Eğitimi Önemsememe / Gereksiz Görme (İlgisizlik)	k1, k3, k4, k6, k7, k9, k11, k12	8
Okulu "Bakıcı / Çocuk Avutma / Oyun Merkezi" Olarak Görme	k2, k5, k8, k10, k14	5
Bilinçli ve İlgili Veliler (Olumlu Algı)	k9, k10, k12, k13, k15	5

Tablo 13, velilerin eğitime bakış açısındaki temel probleme ışık tutmaktadır. Katılımcıların büyük kısmı, ailelerin eğitimi temel plana koymadıklarını ve ilgisiz olduklarını belirtmiştir. Okul öncesi eğitimin öneminin bilinmemesi sebebiyle okuma-yazma öğretilmeyen bu kademeyi gereksiz bulmaktadırlar. Diğer bir baskın algı ise okulu çocukların evden gitmesi, annelerin ev işlerini rahat yapması için bir araç olarak görmektir. Okula ikna ekipleriyle veli ziyareti yapılarak öğrencilerin toplandığı kaydedilmiştir.

Tablo 14. Öğretmen-veli iletişimi

İletişim Tarzı	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Saygılı ve Seviyeli İletişim (Mesafe Korunuyor)	k1, k5, k7, k9, k12, k13, k14, k15	8
Çok Zayıf / Kopuk / Sadece Çağrılınca Gelme	k2, k3, k4, k6	4
Rol Karmaşası / Saygı Duymama	k8, k10	2

Samimi / Komşu-Arkadaş İlişkisi	k11	1

Tablo 14'e göre, eğitime yönelik olumsuz algıya rağmen, öğretmenlerin velilerle olan kişisel iletişimleri genel olarak saygılı ve seviyeli çizgide ilerlemektedir. Veliler öğretmene değer vermekte ancak iş birliği (toplantılara katılım, evde destek olma) boyutunda oldukça pasif kalmaktadırlar. Bazı katılımcılar iletişim kurmanın aşırı çaba gerektirdiğini, babaların öğretmenle muhatap olmaktan kaçındığını ve katılımın çok düşük olduğunu ekleyerek mezosistem bağlarının zayıflığını doğrulamışlardır.

2.13. Görev Yapılan Bölgenin Sosyo-ekonomik Yapısı

Öğretmenlerin görev yaptıkları kırsal çevrelerin ekonomik kaynakları ve bu kaynakların okul öncesi süreçlerine yansımaları çözümlenmiştir.

Tablo 15. Bölgenin sosyo-ekonomik geçim kaynakları

Geçim Kaynağı / Yapı	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Tarım ve Hayvancılık (Maddi Durumu İyi Ama Eğitime Yansımıyor)	k1, k2, k3, k5, k6, k7, k8, k11, k12, k13	10
Düşük Gelir / Mevsimlik İşçilik / İşçi-Çiftçi	k4, k9, k10, k13, k15	5
Uzun Yol / Tır Şoförlüğü	k14	1

Tablo 15 incelendiğinde oldukça paradoksal bir bulgu ortaya çıkmaktadır. Bölge halkının büyük kısmı tarım ve hayvancılık ile uğraşmaktadır ve öğretmenlerin ifadesine göre aslında "maddi durumları/hayvan varlıkları iyi durumdadır". Ancak aileler bu ekonomik gücü çocuklarının eğitimine veya okul materyallerine yansıtmaktan kaçınmaktadırlar. Diğer grupta ise mevsimlik işçilik gibi doğrudan düşük gelir grubuna dahil olan ve mont/bot dahi alamayacak durumda olan ailelerin varlığı dikkat çekmektedir.

Tablo 16. İmkan kısıtlılığının öğretmenlik sürecine etkisi

Öğretmenlik Sürecine Etkileri	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Sosyal ve Kültürel İzolasyon (Aktivite Alanı Yokluğu)	k1, k4, k6, k11, k14, k15	6
Yetersizlik ve Çaresizlik Hissi	k1, k7, k3, k5	4
Eğitim Etkinliklerinin Sınıfa Sıkışması (Gezi/Bahçe Yapamama)	k2, k7, k14	3
Bireysel Ekonomik Yük (Cebinden Harcama Yapma)	k9, k10, k13	3
Dil Problemi ve İletişim Engelleri	k8, k12	2

Tablo 16, sosyo-ekonomik elverişsizliğin öğretmenlerin profesyonel ve kişisel yaşamlarını nasıl kısıtladığını özetlemektedir. En belirgin etki sosyal ve kültürel izolasyon başlığında toplanmıştır. Öğretmenler hafta sonları kırtasiye malzemesi almak için bile merkeze gitmeyi beklediklerini, yakın çevrede hiçbir sosyal alan olmadığını ve sadece okula mecbur kaldıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca bölgedeki dil problemleri ve gezi alanlarının yokluğu, eğitim kalitesini düşürerek öğretmenlerde yetersizlik hissi yaratmaktadır.

2.14. Güvenlik, Ulaşım ve Sosyal İmkan Sorunları ve Çözüm Stratejileri

Öğretmenlerin görev yaptıkları bölgelerdeki lojistik krizler ve bunlarla baş etme yöntemleri

tablolaştırılmıştır.

Tablo 17. Yaşanan temel sorunlar

Yaşanan Lojistik Sorunlar	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
İklim/Hava Muhalefeti ve Kötü / Bozuk Köy Yolları	k2, k3, k4, k12, k13, k14, k15	7
Toplu Taşıma / Servis Yokluğu veya Aşırı Maliyetli Olması	k4, k5, k7, k10, k11, k12, k15	7
Sosyal Aktivite Alanlarının Olmaması	k1, k3, k8, k9	4
Güvenlik Tehditleri (Tehdit Alma / Silahlı Çatışma / Kan Davası)	k6, k10, k11	3

Tablo 17 incelendiğinde, kırsal bölgelerde görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin en sık karşılaştıkları sorunların olumsuz iklim koşulları ve bozuk köy yolları ile toplu taşıma ve servis imkânlarının yetersizliği veya yüksek ulaşım maliyetleri olduğu görülmektedir. Öğretmenler, özellikle kış aylarında yolların kapanması ve ulaşım seçeneklerinin sınırlı olması nedeniyle okullarına ulaşmakta güçlük yaşadıklarını belirtmişlerdir. Bunun yanında dört öğretmen, görev yaptıkları bölgelerde sosyal ve kültürel etkinlik alanlarının bulunmamasını önemli bir sorun olarak ifade etmiştir. Üç öğretmen ise tehdit edilme, silahlı çatışma ve kan davası gibi güvenlik sorunlarına dikkat çekmiştir. Bu bulgular, öğretmenlerin mesleki yaşamlarında yalnızca okulun fiziksel koşullarından değil, görev yaptıkları bölgenin ulaşım, güvenlik ve sosyal olanaklarından kaynaklanan çeşitli güçlüklerle de karşılaştıklarını göstermektedir.

Tablo 18. Çözüm stratejileri

Öğretmenlerin Geliştirdiği Çözümler	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Kişisel Araç Kullanımı veya Arkadaş Araçlarına Ortak Olma	k1, k2, k4, k5, k7, k10, k12, k13	8
Resmi Makamlarla (Jandarma/Yerel Yönetim) İş Birliği	k3, k6, k8, k9, k11, k14, k15	7
İleri Düzey Planlama ve Tedarikli Olma	k5	1

Tablo 18, öğretmenlerin sistem dışı çözümlerle karşılaştıkları güçlüklerle baş etme çabalarını yansıtmaktadır. Ulaşım krizini çözmek adına öğretmenlerin bir kısmı ya borçlanarak kişisel araç edinmiş ya da aracı olan meslektaşlarının arabalarına ortak olmuştur. Güvenlik ve yol kapanma sorunlarında ise öğretmenler bireysel olarak Jandarma komutanlıkları, yerel yönetimler ve muhtarlarla doğrudan hat kurarak güvenliği sağlama ve kamera taktırma yoluna gitmişlerdir.

2.15. Çözüm İçin Yetkili Makamlara Önerilere Yönelik Bulgular

Öğretmenlerin mülakatlar esnasında sundukları makro ve mikro düzeydeki kurumsal çözüm önerileri analiz edilerek gruplandırılmıştır.

Tablo 19. Çözüm önerileri

Talep Edilen Yapısal Reformlar	Katılımcı Kodları	Frekans (f)*
Ödeneklerin Artırılması ve Harcamaların Sıkı Denetlenmesi	k1, k5, k8, k11, k13, k14	6
Kurumsal Öğretmen Servisi ve Ulaşım Desteği Sağlanması	k1, k4, k7, k10, k12	5
Düzenli Teftiş, Ziyaret ve Yerel İdareci Seçim Standartları	k2, k3, k8, k9	4
Köy Okulu Lojmanlarının Fiziki Koşullarının İyileştirilmesi	k4, k7, k12	3
Köy Velilerine Yönelik Zorunlu Bilinçlendirme Çalışmaları	k4, k14, k15	3
Kadrolu Güvenlik ve Temizlik Personeli Atanması	k6, k15	2

Tablo 19 incelendiğinde, öğretmenlerin çözüm önerilerinin merkezinde ödenek artırımı ve harcama denetimi ile kurumsal öğretmen servisi talepleri yer almaktadır. Öğretmenler okullara gönderilen bütçelerin yetersiz olduğunu ve bu bütçelerin nereye harcandığının müfettişlerce sıkı denetlenmesi gerektiğini savunmuşlardır. Veli bilinçlendirme çalışmaları ve lojmanların iyileştirilmesi de kırsaldaki eğitimin niteliğini artırmak için acil yapılması gereken adımlar olarak kurumsal birer öneri niteliğinde sunulmuştur.

3.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, kırsal bölgelerdeki okullarda görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin karşılaştıkları sorunlar ve bu sorunlara yönelik çözüm önerileri incelenmiştir. Araştırma bulguları, öğretmenlerin yaşadıkları güçlüklerin yalnızca okulların fiziksel koşullarıyla sınırlı olmadığını; ekonomik, sosyal, yönetsel ve çevresel etkenlerle birlikte şekillendiğini göstermektedir. Bu durum, bireyin yaşantısının içinde bulunduğu çevresel sistemlerden bağımsız değerlendirilemeyeceğini vurgulayan Bronfenbrenner'ın (1979) Ekolojik Sistemler Kuramı çerçevesinde ele alınabilir.

Araştırmanın öne çıkan bulgularından biri, öğretmenlerin eğitim materyallerine erişimde ve okulların fiziksel koşullarında çeşitli güçlüklerle karşılaşmalarıdır. Katılımcıların 13'ü materyal temininde sorun yaşadığını belirtirken, 8'i görev yaptığı okulda kömür veya odun sobası kullanıldığını ifade etmiştir. Bunun yanında temizlik personelinin sürekliliğinin sağlanamaması ve güvenlik önlemlerinin yetersizliği de öğretmenlerin üzerinde durduğu sorunlar arasında yer almaktadır. Bu bulgular, kırsal okullarda altyapı ve kaynak yetersizliklerinin eğitim süreçlerini güçleştirdiğini belirten du Plessis'in (2014) çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Okul öncesi eğitimde fiziksel ortamın ve materyal çeşitliliğinin çocukların öğrenme deneyimlerini desteklemedeki önemi düşünüldüğünde, söz konusu eksikliklerin öğretmenlerin planladıkları etkinlikleri uygulamalarını sınırlandırabileceği söylenebilir.

Fiziksel koşullara ilişkin sorunların öğretmenlerin mesleki motivasyonlarına da yansıdığı görülmektedir. Araştırmada 13 öğretmen, kısıtlı imkânların motivasyonlarını olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Özellikle materyal eksikliği, yetersiz ısınma ve destek personeli bulunmaması gibi durumlar, öğretmenlerin eğitim faaliyetleri dışında farklı sorumluluklar üstlenmelerine neden olmaktadır. İşli (2023), öğretmenlerin mesleki yaşantılarında karşılaştıkları güçlükler ile psikolojik dayanıklılık ve tükenmişlik arasındaki ilişkiye dikkat çekmektedir. Bu araştırmada elde edilen görüşler de öğretmenlerin çalışma koşullarının mesleki motivasyonları açısından önemli olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte bazı katılımcıların sınırlı imkânları farklı çözüm yolları geliştirmek için bir fırsat olarak değerlendirmesi, aynı koşulların öğretmenler tarafından farklı biçimlerde deneyimlenebildiğini göstermektedir.

Araştırmanın bir diğer bulgusu, kırsal bölgelerde görev yapan öğretmenlerin ailelerle kurdukları ilişkilerde karşılaştıkları güçlüklerdir. Katılımcıların bir kısmı, velilerin okul öncesi eğitimi yeterince önemsemediğini veya bu eğitim kademesini yalnızca çocukların zaman geçirdiği bir ortam olarak değerlendirdiğini ifade etmiştir. Bununla birlikte ailelerle olumlu iletişim kurabildiğini belirten öğretmenlerin de bulunması, kırsal bölgelerdeki ailelerin eğitime yönelik tutumlarının tek biçimli olmadığını ortaya koymaktadır. Bronfenbrenner'ın (1979) Ekolojik Sistemler Kuramı'nda aile ve okul arasındaki ilişkiler mezosistem kapsamında değerlendirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, ailelerin okul öncesi eğitime ilişkin farkındalıkları ve öğretmenlerle geliştirdikleri iş birliği, çocuklara sunulan eğitim deneyimlerinin önemli bir parçası olarak değerlendirilebilir.

Öğretmenlerin karşılaştıkları sorunlar arasında okul yönetimiyle ilişkiler de yer almaktadır. Bazı katılımcılar yöneticilerin okul öncesi eğitimin ihtiyaçlarını yeterince dikkate almadığını ve taleplerinin karşılanmasında güçlük yaşadıklarını belirtirken, bazıları okul yönetimiyle olumlu ilişkiler geliştirdiklerini ifade etmiştir. Bu farklılık, yönetsel sorunların bütün katılımcılar tarafından aynı düzeyde deneyimlenmediğini göstermektedir. Bronfenbrenner'ın (1979) kuramı açısından değerlendirildiğinde, okulun kurumsal yapısı ve yönetsel kararları öğretmenlerin çalışma koşullarını etkileyen çevresel unsurlar arasında yer almaktadır. Dolayısıyla okul öncesi eğitimin ihtiyaçlarının yönetim süreçlerinde dikkate alınması, öğretmenlerin mesleki çalışmalarını destekleyebilecek bir unsur olarak değerlendirilebilir.

Araştırmada ulaşım, güvenlik ve sosyal olanakların sınırlılığı da öğretmenlerin mesleki yaşantılarını etkileyen önemli sorunlar arasında belirlenmiştir. Katılımcılar, özellikle olumsuz hava koşulları, ulaşım araçlarının yetersizliği ve yüksek ulaşım maliyetleri nedeniyle güçlük yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bunun yanında bazı öğretmenler görev yaptıkları çevrede sosyal ve kültürel etkinliklere katılma olanaklarının sınırlı olduğunu belirtmiştir. Kırsal bölgelerde eğitim hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından coğrafi koşulların ve çevresel olanakların dikkate alınması gerektiği, kırsal eğitimin yapısal güçlüklerine odaklanan çalışmalarla da desteklenmektedir (Preston, 2021; du Plessis, 2014). Bu bağlamda öğretmenlerin yaşadıkları sorunların yalnızca sınıf içi düzenlemelerle giderilemeyeceği, çevresel ve kurumsal destek mekanizmalarına da ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

Araştırmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, kırsal bölgelerde görev yapan okul öncesi öğretmenlerinin fiziksel yetersizlikler, materyal eksikliği, ulaşım sorunları, sınırlı sosyal olanaklar ve yönetsel güçlüklerle karşılaştıkları görülmektedir. Öğretmenlerin bu sorunları çözebilmek için kimi zaman kendi ekonomik kaynaklarını kullandıkları, meslektaşlarıyla iş birliği yaptıkları veya yerel kurumlardan destek almaya çalıştıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte bireysel girişimlerin, kırsal bölgelerdeki eğitim koşullarından kaynaklanan yapısal sorunların çözümünde tek başına yeterli olmayabileceği düşünülmektedir.

Araştırma bulguları doğrultusunda kırsal bölgelerdeki okul öncesi eğitim kurumlarına ayrılan kaynakların ihtiyaçlar doğrultusunda düzenlenmesi, eğitim materyallerinin temin edilmesi ve okulların ısınma, temizlik ve güvenlik koşullarının iyileştirilmesi önerilmektedir. Öğretmenlerin ulaşım sorunlarını azaltmaya yönelik servis ve ulaşım desteği sağlanması, destek personeli ihtiyacının karşılanması ve okul yönetimlerinin okul öncesi eğitimin gereksinimlerine yönelik farkındalıklarının artırılması da önem taşımaktadır. Ayrıca ailelerin okul öncesi eğitime ilişkin bilgi ve farkındalıklarını geliştirecek çalışmaların, okul-aile iş birliğini güçlendirebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, kırsal bölgelerde okul öncesi eğitimin niteliğinin geliştirilmesi, yalnızca öğretmenlerin bireysel çabalarıyla değil, okulların fiziksel, ekonomik ve sosyal koşullarını dikkate alan bütüncül destek mekanizmalarıyla mümkün olabilir. Bu araştırmada elde edilen bulgular, öğretmenlerin mesleki deneyimlerinin içinde bulundukları çevresel koşullarla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Araştırmanın 15 öğretmenin görüşleriyle sınırlı olması nedeniyle sonuçların bütün kırsal okullara genellenmesi amaçlanmamakta; benzer koşullarda gerçekleştirilecek araştırmalar için bir değerlendirme zemini sunması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of human development: Experiments by nature and design*. Harvard University Press.

Bronfenbrenner, U. (1994). Ecological models of human development. In T. Husén & T. N. Postlethwaite (Eds.), *International encyclopedia of education* (2nd ed., Vol. 3, pp. 1643–1647). Elsevier.

du Plessis, P. (2014). Problems and complexities in rural schools: Challenges of education leadership. *Mediterranean Journal of Social Sciences, 5*(20), 1109–1117. https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n20p1109

İşli, F. (2023). *Öğretmenlerin mesleki tükenmişlikleri ile psikolojik dayanıklılıkları arasındaki ilişki* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi.

Merriam, S. B. (2023). *Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber* (S. Turan, Çev. Ed.). Nobel Yayıncılık. (Orijinal eser 2009 yılında yayımlanmıştır).

Millî Eğitim Bakanlığı. (2006a). *Okul öncesi eğitim programı*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2006b). *Temel eğitime destek projesi: Öğretmen eğitimi bileşeni öğretmenlik mesleği genel yeterlilikleri*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2022). *Köy okulları yaşam merkezlerine dönüşüyor projesi*. Millî Eğitim Bakanlığı.

Preston, J. P. (2021). Rural education in Canada: An overview of academic and social development. *The Rural Educator, 42*(1), 1–12. https://doi.org/10.35608/ruraled.v42i1.1188

Şahin, E. (2005). *Okul öncesi eğitimi öğretmen adayları ve öğretmenleri için uygulama*. Anı Yayıncılık.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2025). *Nüfus ve kentleşme istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.

van Manen, M. (2023). *Phenomenology of practice: Meaning-giving methods in phenomenological research and writing*. Routledge.

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2021). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (12. baskı). Seçkin Yayıncılık.

Zayimoğlu Öztürk, F., Kaya, N., & Durmaz, E. (2016). Okul öncesi öğretmenlerinin görev sürecinde yaşadıkları eğitimsel sorunlar ve çözüm önerileri. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 7*(3), 68–94.

KÜRESEL ANTEP FISTIĞI PİYASASINDA FİYAT OLUŞUMU: STOKUN COĞRAFİ KAPSAMI VE MENŞE BAZLI ARZ DEĞİŞİMLERİ

Assoc. Prof. Dr. Zekiye ŞENGÜL ABEDI
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Siirt, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2496-2867

ÖZET
Bu çalışmada, Antep fıstığı piyasasında ABD üretici fiyatının menşe bazlı üretim değişimleri ve devreden stokla kısa dönem koşullu ilişkisi, stokun coğrafi kapsamı dikkate alınarak incelenmiştir. USDA PSD, NASS, GATS ve Administrative Committee for Pistachios (ACP) verileriyle yıllık birinci-fark ters talep denklemleri (2001/02–2025/26) ve aylık ihracat birim değeri modeli (2012M01–2026M08) tahmin edilmiştir. Düzey ilişkisi saptanamadığından ve devreden stok önceki yılın talebini yansıtabileceğinden tahminler kısa dönem koşullu ilişkiler olarak yorumlanmıştır. Öncelikle stok verisinin kaynağı incelenmiş; ACP'nin tahmini pazarlanabilir envanterinin kabuklu eşdeğerde 2008/09–2025/26 döneminde PSD ABD stokuyla %1'in altında farkla örtüştüğü belirlenmiştir. Bu stokla kurulan temel modelde ABD üretimi ve devreden stokundaki %1'lik artışların reel üretici fiyatında sırasıyla %0,53 ve %0,32'lik düşüşlerle ilişkili bulunmuştur; her iki katsayı %5 düzeyinde anlamlı olmakla birlikte üretim katsayısının kesinliği birinci-fark gösterimine bağlıdır. Stokun coğrafi kapsamının diğer menşe üretim katsayısını etkilediği görülmüştür: dünya stokuyla −0,40 olan katsayı ABD stokuyla −0,20'ye gerilemekte olup fark bütün yöntemlerde %10 düzeyinde anlamlıdır. Menşe ayrımında ilişkinin İran'da yoğunlaştığı görülmüştür: İran üretimindeki %1'lik artış ABD üretici fiyatında %0,16'lık, ABD ihracat sevkiyatında %0,13'lük düşüşle ilişkilidir; ancak bu ilişki %10 düzeyinde anlamlı olup 2018/19–2019/20 yıllarına bağlıdır. Türkiye üretimi için anlamlı ilişki saptanmamış; ayrıca 2025/26'da PSD dünya stokunun %71'ini oluşturan Türkiye stok tahmininin belgelenmiş envanter raporlamasına dayanmadığı belirlenmiştir. İkinci fiyat ölçüsü olan aylık ihracat birim değerinin yıllık arzla ilişkili olduğu, yıl içi stok erimesiyle ise %5 düzeyinde anlamlı ilişki bulunmadığı saptanmıştır. Bulgular, PSD stok kaleminin fiyat modellerinde menşe ve birim düzeyinde doğrulanması gerektiğini, Türkiye için işleyici bildirimine dayalı stok raporlamasının ise dünya bilançosunun bilgi değerini artıracağını göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Antep fıstığı; ters talep; fiyat bükülgenliği; devreden stok; menşe bazlı arz

PRICE FORMATION IN THE GLOBAL PISTACHIO MARKET: THE GEOGRAPHIC SCOPE OF STOCKS AND ORIGIN-SPECIFIC SUPPLY CHANGES

ABSTRACT
This study examines the short-run conditional association between the US pistachio grower price and origin-specific production changes and carry-in stocks, accounting for the geographic scope of stocks. Annual first-difference inverse demand equations (2001/02–2025/26) and a monthly export unit value model (2012M01–2026M08) are estimated with USDA PSD, NASS, GATS, and Administrative Committee for Pistachios (ACP) data. Since no levels relationship is found and stocks may reflect past demand, estimates are short-run conditional associations. Stock measurement is examined first: in inshell equivalent, ACP's estimated marketable inventory matches PSD US stocks within 1% in 2008/09–2025/26. In the baseline model, 1%

increases in US production and carry-in stocks are associated with 0.53% and 0.32% lower real grower prices, both significant at 5%, although production-coefficient precision depends on first-differencing. The stock's geographic scope alters the other-origin production coefficient from −0.40 (world stocks) to −0.20 (US stocks), a difference significant at 10% under all methods. By origin, the association concentrates in Iranian production: a 1% increase is associated with 0.16% lower prices and 0.13% lower US export shipments, significant at 10% but dependent on 2018/19–2019/20. Turkish production shows no significant association, and Türkiye's stock estimate, 71% of PSD world stocks in 2025/26, lacks documented inventory reporting. Monthly export unit values are likewise related to annual supply but not, at 5%, to within-year stock drawdown. The PSD stock item should therefore be verified by origin and unit before use in price models; handler-based stock reporting for Türkiye would raise the world balance sheet's information value.
Keywords: Pistachio; inverse demand; price flexibility; carry-in stocks; origin-specific supply

1. INTRODUCTION

Pistachios are a storable crop whose production is concentrated in a few origins and whose short-run supply is determined by planting decisions made years before harvest and by a pronounced biological alternate-bearing cycle (Crane & Nelson, 1971; Khezri et al., 2020). According to USDA PSD data, world production rose from 312,740 t in 2001/02 to 1,131,676 t in 2025/26, and the US share increased from 23.4% to 63.3%. US production exhibits strong alternate bearing (AR(1) = −0.75 in $\Delta \ln$ production).

These features make the inverse demand approach, which treats price as a function of quantity, a suitable framework (Houck, 1965; Barten & Bettendorf, 1989; Tomek & Kaiser, 2014). The starting point of the study is an inverse demand equation that splits world production into US and other-origin components and uses world beginning stocks as a single control variable (the "comparison model with world stocks"). The study makes three contributions: (i) it estimates price flexibilities of the US grower price with respect to origin-specific production and stocks; (ii) it reconciles the PSD stock item with ACP inventories at the source level and shows how the composition of world stocks affects the production coefficients; and (iii) it compares supply changes on a per-ton basis. The separate results for Iranian and Turkish production are treated as exploratory. Monthly ACP and GATS data are used to check the annual findings against a second price measure.

Section 2 presents the conceptual framework, literature, and hypotheses; Section 3, the data and methods; Section 4, the results; Section 5, the discussion; and Section 6, the conclusions and recommendations.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK AND LITERATURE

2.1. Price formation in storable agricultural commodities and the nature of stock data

For crops whose current-period supply is largely fixed at harvest, price settles at the level that clears the given quantity. The behavioral equation for such products is inverse demand. The coefficient estimated in log-log form is the price flexibility, which measures the percentage change in price for a 1% change in quantity (Houck, 1965). Because, for a storable commodity, the current price must also equilibrate stockholding decisions, the short-run flexibility is not a fixed parameter; it varies with stock levels and over time (Adjemian & Smith, 2012). In perennial crops, the predetermination of quantity stems from the long lag between planting and first harvest and from the age-dependent yield profile of trees (French & Matthews, 1971; Siegle et al., 2024). This lag is also long for pistachios. The crop additionally exhibits a

pronounced two-year alternate-bearing cycle (Crane & Nelson, 1971; Khezri et al., 2020). Current-year production can therefore be treated as independent of the current price.

The theory of competitive storage predicts that price is a decreasing and typically convex function of availability, defined as the sum of current production and carry-in stocks (Gustafson, 1958; Williams & Wright, 1991; Deaton & Laroque, 1992, 1996). Because stocks and production enter the same availability pool, the price effect of stocks measured per ton is expected to be close to that of production. As the stocks-to-use ratio falls, the price response to supply shocks increases (Carter et al., 2011; Wright, 2011; Bobenrieth et al., 2013). Empirical applications of these predictions usually take the nature of stock data as given. In global balance sheets, however, the stock item is compiled differently across countries. USDA PSD balance sheets close with a zero residual for every country, and this identity cannot be taken as evidence of data quality. For the United States, stocks are based on regular inventory reports filed by handlers (processors) under the federal marketing order for pistachios, whereas in countries without such reporting, stocks and consumption are estimated items. Aggregating reported and estimated stocks into a single world total may blur the interpretation of the stock coefficient. Because stock estimates are correlated with production, the production coefficients may also be affected. In grain markets, the use of world stocks-to-use ratios excluding China as indicators of vulnerability to price spikes (Bobenrieth et al., 2013) is an established example of letting the reliability of stock data guide the choice of indicator. To the author's knowledge, this issue has not been addressed in the pistachio price literature.

2.2. Empirical literature on pistachio and tree nut markets

The international economic literature on pistachios focuses mainly on export demand, market structure, and price relationships across origins. Zheng et al. (2012) estimated price and income elasticities of US export demand. Asgari and Saghaian (2013) examined US–Iran competition in the Japanese import market with oligopoly models and found that a Stackelberg model with US quantity leadership fit the data best. Using gravity models for 1996–2014, Rabadán and Triguero (2021) showed that stricter aflatoxin standards had a positive effect on both US and Iranian exports. On the Iranian side, Mahmoodzadeh and Zibaei (2004) analyzed Iran's export supply with an ARDL cointegration approach and reported no significant short- or long-run effect of exchange rate volatility. Chizari and Sadafi Abkenar (2020) estimated Iran's domestic supply and demand and its exports to the EU, East Asia, and West Asia for 1988–2015 with a simultaneous structural model. Gray et al. (2005) conducted an ex ante simulation analysis of the economic effects of the mandatory quality standards and certification under the federal marketing order for California pistachios. The inventory data used in this study are compiled by the ACP, which administers the same order. A VECM analysis of monthly US, Iranian, and Turkish export prices found that the US price is weakly exogenous and that US and Iranian prices move together in the long run (Şengül Abedı, 2025).

In the Turkish literature, Aksoy et al. (2002) built an econometric model of the Turkish pistachio sector consisting of supply, demand, and stock equations and reported that exports and consumption reduce stock levels. Temel and Aksoy (2020) estimated a simultaneous-equation model of production, consumption, imports, and exports for 1980–2018 and found that the lagged real producer price and alternate bearing were significant at the 10% level in the supply equation; the same study notes that exports account for a small share of Turkish production and that the domestic price exceeds the export price. Özdemir and Aksoy (2024) provided production forecasts through 2030 for the main producing countries, and Aşkan (2019) calculated producer–consumer marketing margins. Studies of the marketing and processing stages have examined the marketing organization of exporting firms in Gaziantep

and the obstacles to exports, such as aflatoxin limits, the sourcing of raw material of adequate quality, and exchange rate volatility (Elbistanlı et al., 2020); the profit margins of actors in the Siirt pistachio value chain (Öztep, 2023); and the structure and sustainability of pistachio processing facilities in Siirt, Batman, and Gaziantep (Doğan Öz & Saner, 2023). Farm-level studies, in turn, have focused on topics such as the income-based valuation of pistachio orchards (Engindeniz, 2007) and energy use efficiency in production (Gökdoğan et al., 2022). For hazelnuts, where Türkiye dominates world supply, Yavuz et al. (2005) estimated the sector with a simultaneous model consisting of price, planted area, production, domestic consumption, and export equations and a stock identity, and Bayramoğlu and Gündoğmuş (2007) analyzed the world market in a VAR framework. The aim of this study is to estimate the short-run relationship between the US grower price and origin-specific production changes and carry-in stocks, taking into account the source and geographic scope of the stock variable. To this end, the PSD stock item is reconciled with ACP inventories at the source level, the production coefficients of the models with world and US stocks are compared, and the price effects of supply changes are separated by origin.

2.3. Hypotheses

H1 (stock composition): The other-origin production coefficient depends on whether the stock variable is defined as world stocks or US stocks; the relationships of US stocks and other-origin stocks with price differ.

H2 (origin heterogeneity, exploratory): The relationships of the US price with changes in Iranian and Turkish production differ.

H3 (per-ton equality): When scaled by lagged availability, the price effects of unit changes in US and other-origin production are equal (the “single pool” hypothesis).

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Data sources and sample

Quantity data are taken from the USDA FAS PSD Online Tree Nuts dataset (October 29, 2026 release, “Pistachios, Inshell Basis”) (U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service [USDA FAS], 2026a). Since 2001/02, PSD has reported production for five origins (the United States, Iran, Türkiye, the EU, and Syria), and the “world” total is the sum of production in these five origins. Because smaller producers such as Afghanistan, China, Tunisia, and Australia are not covered, the concepts of “world” and “other origins” (ROW) are limited to PSD coverage. The levels sample is 2001/02–2025/26, and the first-difference sample is 2002/03–2025/26 (24 observations). Values for 2025/26 are preliminary. This year also coincides with a demand shock associated with rapid growth in the use of kernels in confectionery products (Section 4.6).

The reference price is the USDA NASS marketing-year (September–August) US grower price ($/lb, inshell; U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service [USDA NASS], 2026). The price for the 2025 crop year ($2.48/lb) is a preliminary value published in May 2026. Prices are converted to 2025/26 prices using the marketing-year average of the monthly BLS CPI-U. Because BLS did not publish the October 2025 index, the 2025/26 deflator is the average of 11 months. Demand-side controls are World Bank world real GDP growth, mapped to the marketing year with weights of 4/12 and 8/12 (2025 growth is used for 2025/26; World Bank, 2026), and the Federal Reserve's real broad dollar index (Federal Reserve Bank of St. Louis, 2026). Because the current index (RTWEXBGS) starts in 2006, the earlier series (TWEXBPA) is spliced to it for prior years using the average ratio over the 2006–2019 overlap.

Monthly data are compiled from the ACP's year-end Inventory/Shipment reports

(Administrative Committee for Pistachios [ACP], 2009–2026). For each marketing year, monthly domestic and export shipments by product type were collected, together with carry-in stocks, crop receipts, loss and processing adjustments, and the August 31 marketable inventory, yielding 228 monthly observations for 2007/08–2025/26. The US export unit value is the ratio of USDA GATS monthly export value to quantity (USDA FAS, 2026b). Because inshell and shelled product were combined under a single customs code (HS 080250) before 2012, the primary monthly results rely on the period from 2012M01 onward, which is covered by the inshell code (HS 080251).

3.2. Variables and measurement of stocks

Q_{US} denotes US production, $Q_{ROW} = Q_{WLD} - Q_{US}$ other-origin production, S_{WLD} PSD world beginning stocks, S_{US} PSD US beginning stocks (that is, carry-in stocks from the previous marketing year), and $S_{ROW} = S_{WLD} - S_{US}$ other-origin stocks (all in metric tons, inshell basis). ACP reports record kernels at kernel weight. For shipments, the total column adds inshell and kernel weights in all years. For inventories, there are two reporting formats. In the August 31, 2008–2011 and 2022–2025 inventories, kernels are shown in a separate column and added to the total at kernel weight. In the August 31, 2012–2021 inventories, kernels are not shown separately, and the total is reported on an inshell-equivalent basis. This distinction was verified by comparing the same inventory across two reports: the August 31, 2011 inventory is 146.64 million lb in the 2011 report, of which 4.24 million lb are kernels. The same inventory appears as carry-in in the 2012 report at 150.88 million lb, that is, with kernels counted at twice their weight. Applying the USDA kernel-to-inshell conversion factor of 2.0, the kernel quantity is added once more in the years in which kernels are shown separately, which converts all ACP series, including monthly shipments, to an inshell-equivalent basis. Monthly kernel shipments were taken directly from the monthly tables of the reports and verified to match the annual totals exactly. The ACP defines this inventory item as estimated marketable inventory based on handler reports and adjustments. Table 1 shows the conversion year by year. For example, the August 31, 2025 inventory consists of 51,973 t in total, including 11,342 t of kernels; its inshell equivalent of 63,315 t equals the PSD 2025/26 beginning stock (63,316 t). After conversion, ACP inventories match PSD US beginning stocks within 1% throughout 2008/09–2025/26. Without conversion, the ACP total falls 3–21% below the PSD value in the years in which kernels are shown separately. The PSD US stock series is therefore the inshell equivalent of the ACP's estimated marketable inventory.

Table 1. Conversion of ACP August 31 estimated marketable inventory to an inshell-equivalent basis and comparison with PSD US beginning stocks

August 31 (PSD year)	ACP total (t)	Kernels (t)	Conversion	Inshell equivalent (t)	PSD S_{US} (t)	Difference (%)	Unconverted difference (%)
2008 (2008/09)	54,866	6,425	+ kernels	61,291	61,354	−0.10	−10.57
2009 (2009/10)	29,705	909	+ kernels	30,614	30,660	−0.15	−3.12
2010 (2010/11)	17,532	1,951	+ kernels	19,484	19,550	−0.34	−10.32
2011 (2011/12)	66,516	1,921	+ kernels	68,437	68,825	−0.56	−3.36
2012 (2012/13)	41,123	—	—	41,123	41,125	0.00	0.00
2013 (2013/14)	49,493	—	—	49,493	49,494	0.00	0.00
2014 (2014/15)	34,978	—	—	34,978	34,978	0.00	0.00
2015 (2015/16)	74,802	—	—	74,802	74,803	0.00	0.00
2016 (2016/17)	46,527	—	—	46,527	46,528	0.00	0.00
2017 (2017/18)	115,505	—	—	115,505	115,507	0.00	0.00
2018 (2018/19)	47,456	—	—	47,456	47,456	0.00	0.00
2019 (2019/20)	59,925	—	—	59,925	59,926	0.00	0.00
2020 (2020/21)	65,348	—	—	65,348	65,349	0.00	0.00
2021 (2021/22)	128,825	—	—	128,825	128,827	0.00	0.00
2022 (2022/23)	160,707	19,965	+ kernels	180,672	180,362	0.17	−10.90
2023 (2023/24)	74,315	12,708	+ kernels	87,023	86,915	0.12	−14.50
2024 (2024/25)	83,736	21,979	+ kernels	105,715	105,389	0.31	−20.55
2025 (2025/26)	51,973	11,342	+ kernels	63,315	63,316	0.00	−17.92

Note: The ACP total and kernels are the August 31 inventory in the August year-end Inventory/Shipment report of the corresponding marketing year (for 2008, the carry-in in the 2009 report); pound values are converted to metric tons at 2,204.62 lb/t. In years in which kernels are reported in a separate column and included in the total at kernel weight, inshell equivalent = total + kernels (USDA factor of 2.0); in 2012–2021 the report total is already on an inshell-equivalent basis (—). Difference = 100 × (ACP inshell equivalent − PSD) / PSD; the unconverted difference uses the ACP total. The 2010 report revised the August 31, 2009 inventory to 68.40 million lb (inshell equivalent 32,937 t; difference +7.4%); PSD follows the first published value.

No published inventory reports exist for other origins. The USDA attaché report for Türkiye gives the sources of the PSD tables as “USDA forecasts, Post forecasts, TurkStat estimates for tree numbers.” For 2022/23–2024/25, the years covered by the same report, almond stocks are listed at 500 t in every year and walnut stocks at 1,300–1,500 t. The report's section on pistachio stocks states that neither government agencies nor producer associations in Türkiye maintain ending-stock data; the 200,000 t ending-stock forecast for 2024/25 is justified by the assumption that, because stock levels are so large, traders will sell only part of their inventories, but no measurement or calculation method is described (USDA FAS, 2024, p. 5). PSD beginning stocks for Turkish pistachios are 10,000, 500, 22,500, 500, and 68,100 t, respectively, in 2017/18–2021/22, 95,000 t in 2024/25, and 200,000 t in 2025/26. In 2025/26, this estimate accounts for 71% of world stocks (279,816 t) (Figure 2). How the small values of 500 t were generated is not documented. Log differences of Turkish stocks are on the order of ±3–5 in 2018/19–2021/22. US stocks at the start of the sample also have a small base (11,271 t in 2002/03). Stock effects are therefore reported in both log and per-ton form. That said, according to PSD, Türkiye's 2024/25 production reached a record 385,000 t, and the large stocks may also reflect genuine accumulation.

3.3. Econometric model and inference

The main specification is a first-difference inverse demand equation. The comparison model with world stocks (1) and the specification that separates the stock components (2) are given below:

$$\Delta \ln P_t = c + \beta_{\mathrm{US}} \Delta \ln Q_{\mathrm{US},t} + \beta_{\mathrm{ROW}} \Delta \ln Q_{\mathrm{ROW},t} + \gamma \Delta \ln S_{\mathrm{WLD},t} + u_t \quad (1)$$

$$\Delta \ln P_t = c + \beta_{\mathrm{US}} \Delta \ln Q_{\mathrm{US},t} + \beta_{\mathrm{ROW}} \Delta \ln Q_{\mathrm{ROW},t} + \gamma_{\mathrm{US}} \Delta \ln S_{\mathrm{US},t} + \gamma_{\mathrm{ROW}} \Delta \ln S_{\mathrm{ROW},t} + u_t \quad (2)$$

The baseline model uses US stocks, whose measurement is documented (Table 3, column (3)). The first part of H1 is tested through the difference between the other-origin production coefficients in columns (1) and (3) of Table 3. The standard error of the difference is computed with the leave-one-year-out jackknife (CR3), the year-clustered counterpart of HC3, and an analytical t(23) test is applied. In addition, BCa (Efron, 1987) and bootstrap-t confidence intervals are obtained by resampling years (pairs bootstrap, 9,999 replications). Details of the method and all intervals are given in footnote 1 (Section 4.2). The second part of H1 is tested with the hypothesis $\gamma_{\mathrm{ROW}} = \gamma_{\mathrm{US}}$. Because a significant coefficient alongside an insignificant one does not imply that the two differ, the difference is tested directly (Gelman & Stern, 2006). H2 is examined by splitting Q_{ROW} into Iran, Türkiye, and EU+Syria components. In the per-ton specification (H3), changes are divided by the previous year's total availability ($A_{t-1} = Q_{\mathrm{WLD},t-1} + S_{\mathrm{WLD},t-1}$). Carry-in stocks are physically fixed at the start of the year. However, by the identity $\Delta S_t \equiv Q_{t-1} + M_{t-1} - C_{t-1} - X_{t-1}$ (C consumption, X exports, M imports), they depend on the previous year's production and use (Section 4.4). The estimates are average flexibilities for the sample period; with 24 observations, stock-dependent flexibilities cannot be estimated separately (Section 4.6).

Because the residuals show no evidence of serial correlation (AC(1) = 0.12; Breusch–Godfrey(2) p = 0.57), primary inference relies on HC3 standard errors, which are suitable for small samples (MacKinnon & White, 1985), and on restricted (null-imposed) wild bootstrap p-values (Rademacher weights, HC3 t-statistic, 9,999 replications; Davidson & Flachaire, 2008). Newey and West (1987) HAC(2) standard errors are reported as a robustness check. All coefficient and equality tests use the t(n − k) and F distributions.

3.4. Monthly module

The monthly real export unit value ($\ln \mathrm{UV}$) is modeled as a function of net remaining supply at the beginning of the month and of its two components, annual net supply and the within-year remaining share, controlling for month fixed effects and the real dollar index. Unit values are converted to 2025/26 prices using the same CPI-U series as the annual price. The unpublished October 2025 index is set to 324.46, the linear interpolation of the September and November 2025 values. Using the September or November index instead of the interpolated value changes the October 2025 real unit value by about 0.1%. The base of the monthly series is the average of 12 months including the interpolated value; it differs from the 11-month annual base by 0.13%, a difference absorbed by the constant in log models. Net supply is the ACP's marketable supply after loss, shelling, and other adjustments and equals the sum of ending inventory and total shipments during the year. Beginning-of-month remaining supply is obtained by subtracting the cumulative shipments of previous months from net supply. This series is an indicator reconstructed ex post from year-end inventory and full-year shipments. It is not the same as the inventory reported in a given month and contains information that was not in the market's information set in that month (the year's total adjustments). Because of the annual regressors, standard errors are clustered by marketing year (15 clusters), and p-values are

computed with the restricted (null-imposed) wild cluster bootstrap (WCB; Rademacher weights, full enumeration of the 2^15 sign combinations; Cameron et al., 2008). The log change between pre-harvest (June–August) and post-harvest (November–January) average unit values is regressed on the change in annual US supply (beginning stocks + production). The export volume channel is examined by regressing inshell-equivalent ACP shipments and PSD US exports on Iranian and Turkish production in first differences.

4. RESULTS

4.1. Descriptive results

Table 2 summarizes the structural transformation of the market and the severity of alternate bearing by origin. The US share of world production rose from an average of 28.7% in the first five years to 56.3% in the last five years, while Iran's share fell from 46.6% to 16.8%. The AR(1) coefficient of $\Delta \ln$ production is −0.75 for the United States, −0.85 for Türkiye and −0.44 for Iran. The real grower price was $1.86/lb in 2001/02, peaked at $4.97/lb in 2014/15 and stood at $2.48/lb in 2025/26 (Figure 3).

Table 2. Production structure and alternate-bearing indicators (USDA FAS PSD, inshell basis)

Origin	Mean 2001/02 – 2005/06 (t)	Mean 2021/22 – 2025/26 (t)	Share, first 5 years (%)	Share, last 5 years (%)	Detrended ln SD	AC(1)	ρ (Δln AR1)
United States	110,082	563,090	28.7	56.3	0.29	−0.54	−0.75
Iran	179,000	167,400	46.6	16.8	0.36	−0.19	−0.44
Türkiye	45,000	193,400	11.7	19.4	0.45	−0.70	−0.85
EU	9,734	35,783	2.5	3.6	0.28	0.42	−0.68
Syria	39,920	39,600	10.4	4.0	0.31	−0.02	−0.56
World (PSD)	383,736	999,273	100.0	100.0	0.15	−0.27	−0.55

Note: Detrended ln SD is the standard deviation of log production around a linear trend; AC(1) is the first-order autocorrelation of the same series; ρ is the AR(1) coefficient for Δln production (2003/04–2025/26).

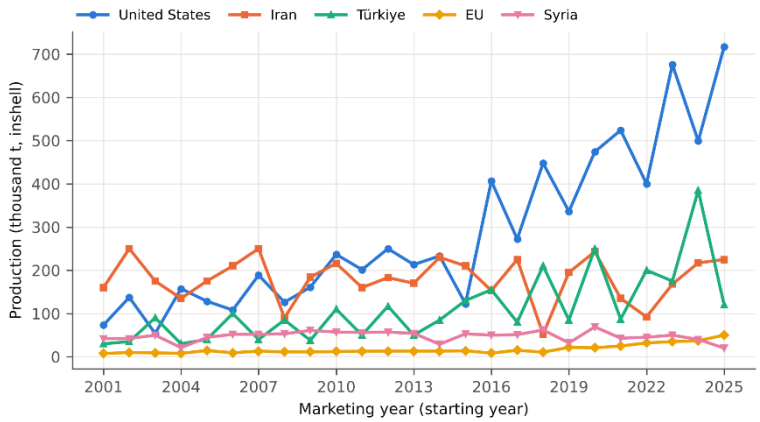


Figure 1. Pistachio production by origin, 2001/02–2025/26 (USDA FAS PSD).

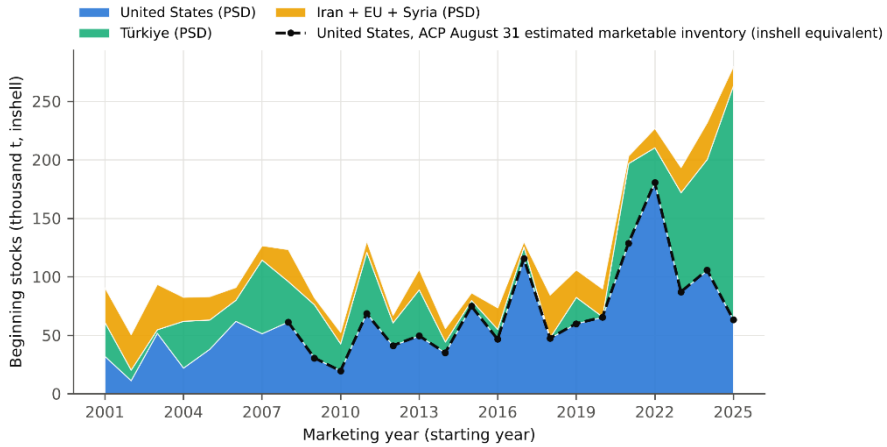


Figure 2. Origin composition of PSD world beginning stocks and ACP August 31 estimated marketable inventory (inshell equivalent, thousand t; Table 1).

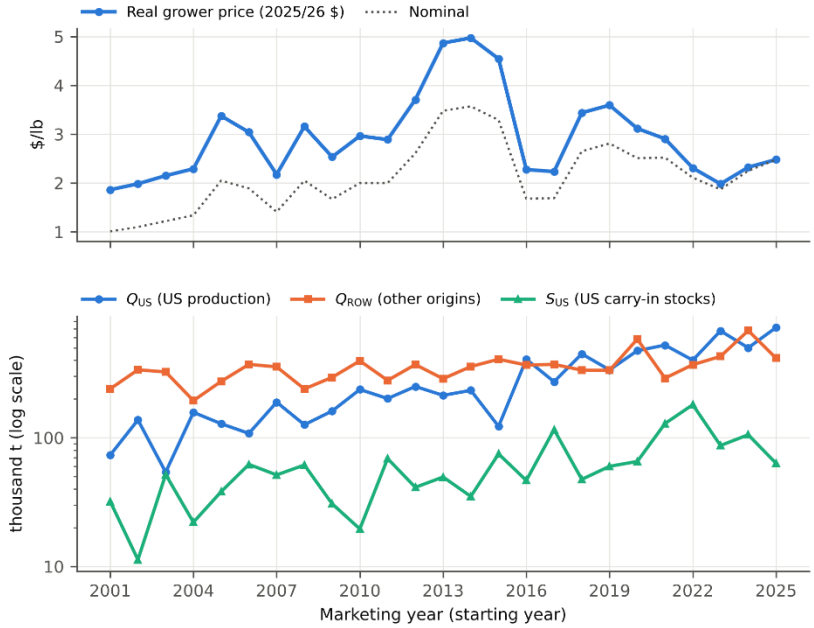


Figure 3. Real and nominal US grower price (top) and US production, other-origin production, and US carry-in stocks (bottom, log scale).

4.2. Stock composition (H1)

The comparison model in column (1) of Table 3 yields roughly equal flexibilities for US and other-origin production (−0.400 and −0.398) and a large coefficient for world stocks (−0.446). When US stocks replace world stocks (column (3)), the other-origin production coefficient falls in absolute value to −0.197. The difference is −0.20 (jackknife SE 0.10, p = 0.06; BCa 95% CI [−0.43, −0.01]).[1] Because other-origin stock and production changes are negatively correlated

[1] Difference between the other-origin production coefficients in columns (1) and (3) of Table 3 (−0.201): leave-one-year-out jackknife SE 0.101, p = 0.06 [t(23)]; BCa 95% CI [−0.43, −0.01], p = 0.04; symmetric bootstrap-t 95% CI [−0.40, −0.006], p = 0.045; normal approximation p = 0.06; basic 95% CI [−0.38, 0.05]. The 90% intervals exclude zero under all methods. In the pairs bootstrap (9,999 replications), years are drawn with replacement, and both equations are estimated on the same years in each resample. In the bootstrap-t, the studentized statistic uses the jackknife standard error recomputed in each resample, and the interval and p-value follow the symmetric rule. The BCa p-value is the significance level at which an endpoint of the BCa interval just reaches zero. The bootstrap distribution is left-skewed (skewness −0.69); leave-one-year-out differences range

(r = −0.64), the two models yield different other-origin production coefficients. In per-ton form, both models are restricted versions of the model that separates the stock components (Table 5, column (2)). Neither the world-stock restriction ($\gamma_{US} = \gamma_{ROW}$; p = 0.48) nor the US-stock restriction ($\gamma_{ROW} = 0$; p = 0.27) is rejected. The data do not allow a choice between the two restrictions. The difference does not depend on 2018/19–2021/22, the years in which Turkish stocks fluctuated. Excluding these years, the other-origin production coefficient is −0.37 in the comparison model and −0.21 in the baseline model. In the full sample, the difference between columns (1) and (2) (−0.18; footnote 1) is not significant. The first part of H1 is supported at the 10% level; the result at the 5% level is sensitive to the method.

For the second part, the result is inconclusive. The coefficient on US stocks is −0.313 and that on other-origin stocks is −0.020, and equality of the two cannot be rejected (p = 0.17). The 90% confidence interval for the other-origin stock coefficient is [−0.19, 0.15]. This precision is specific to the log form. In per-ton form, the other-origin stock coefficient is −1.55 (SE 1.35; Table 5), and its 95% confidence interval ([−4.37, 1.27]) contains both zero and the US stock coefficient (−3.54). An economically meaningful effect of other-origin stocks therefore cannot be ruled out. In the influence diagnostics, the only year exceeding the threshold ($2/\sqrt{n}$) for the other-origin stock coefficient is 2018/19, when PSD Turkish beginning stocks fell to 500 t. The first two years of 2018/19–2021/22, the period of fluctuating Turkish stocks, coincide with retaliatory tariffs and sanctions on Iran. The other-origin stock and Iran results are therefore identified largely from the same years. Excluding these four years, the other-origin stock coefficient becomes −0.07, and equality again cannot be rejected (p = 0.40). With other-origin stocks constructed excluding Türkiye, the coefficient rises to 0.06, and equality is rejected (p = 0.02). Because the effect size of other-origin stocks depends so heavily on the stock definition, it cannot be determined with these data. The comparison model has slightly higher explanatory power (R^2 of 0.40 vs. 0.37), and no statistically significant difference is found between the out-of-sample forecast accuracy of the two models (Section 4.6).

The baseline model (column (3)) includes US stocks. A 1% increase in US production is associated with a 0.53% decrease in the real price (SE 0.227; p = 0.03; bootstrap p = 0.04), and a 1% increase in US carry-in stocks with a 0.32% decrease (SE 0.145; p = 0.04; bootstrap p = 0.03). The other-origin production coefficient (−0.197) is not significant with HC3 (p = 0.13) but is significant at the 10% level with the wild bootstrap (p = 0.07). Equality of the US and other-origin flexibilities cannot be rejected (p = 0.15).

from −0.26 to −0.17. The difference between columns (1) and (2) (−0.179) is not significant (jackknife p = 0.21).

Table 3. First-difference inverse demand estimates; dependent variable $\Delta\ln$ real US grower price, 2002/03–2025/26

Variable	(1) Comparison: S_{WLD}	(2) S_{US} + S_{ROW}	(3) S_{US} (baseline)	(4) Iran / Türkiye / other
$\Delta\ln Q_{US}$	−0.400** (0.153)	−0.520** (0.238)	−0.532** (0.227)	−0.532* (0.278)
$\Delta\ln Q_{ROW}$	−0.398** (0.145)	−0.218 (0.162)	−0.197 (0.126)	-
$\Delta\ln Q_{Iran}$	-	-	-	−0.160** (0.075)
$\Delta\ln Q_{Türkiye}$	-	-	-	−0.030 (0.069)
$\Delta\ln Q_{EU+Syria}$	-	-	-	−0.000 (0.284)
$\Delta\ln S_{WLD}$	−0.446*** (0.147)	-	-	-
$\Delta\ln S_{US}$	-	−0.313* (0.154)	−0.317** (0.145)	−0.317* (0.162)
$\Delta\ln S_{ROW}$	-	−0.020 (0.098)	-	-
R^2	0.40	0.37	0.37	0.43
n	24	24	24	24
p(γ_{US} = γ_{ROW}): HC3 (HAC)	-	0.173 (0.138)	-	-
p(β_{US} = β_{ROW}): HC3 (HAC)	-	-	0.146 (0.016)	-
p(Iran = Türkiye): HC3 (HAC)	-	-	-	0.202 (0.076)

*Note: HC3 standard errors in parentheses; stars are based on the t(n − k) distribution: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10. The constant is not shown. Column (3) is the baseline model. The last three rows report HC3 and, in parentheses, HAC(2) p-values for coefficient equality tests.*

4.3. Origin heterogeneity (H2, exploratory)

In column (4) of Table 3, the coefficient on Iranian production is −0.160 (SE 0.075; p = 0.046; bootstrap p = 0.08), and that on Turkish production is −0.030. Equality of the two coefficients cannot be rejected (p = 0.20). Excluding 2018/19, when Iranian production fell most sharply, the coefficient shrinks in absolute value to −0.10, and excluding 2018/19–2019/20 together, it loses significance (p = 0.47). These two years coincide with retaliatory tariffs on US products and the reimposition of sanctions on Iran. Turning to the channel (Table 4), in inshell-equivalent ACP shipment data a 1% increase in Iranian production is associated with a 0.13% decrease in US export shipments, holding US supply constant (p = 0.06). There is no significant relationship for Turkish production or for domestic shipments. A similar elasticity (−0.14) is obtained with the PSD US export series. Excluding 2018/19–2019/20, the Iran coefficient shrinks in the price equation, whereas in the volume equations it grows in absolute value (from −0.13 and −0.14 to −0.18). However, because the standard errors increase, the relationship loses significance (Table 4, rows (6) and (7)). Together with the lack of a significant relationship between Iranian production and export unit values (Section 4.5), this pattern is consistent with a hypothesized mechanism in which Iranian product displaces US exports in third markets. Because destination-country data are not used, this mechanism is not tested here.

Table 4. Relationship of US export and domestic shipments with Iranian and Turkish production (first differences)

Dependent variable and sample	**Δln US supply**	$\Delta \ln Q_{US}$	$\Delta \ln S_{US}$	$\Delta \ln Q_{Iran}$	$\Delta \ln Q_{Türkiye}$	R^2	**n**
(1) ACP export shipments ~ US supply, Iran	1.010*** (0.229)	-	-	−0.134* (0.065)	-	0.83	18
(2) ACP exports ~ US supply, Iran, Türkiye	1.011*** (0.229)	-	-	−0.159** (0.070)	−0.060 (0.048)	0.85	18
(3) ACP domestic shipments ~ US supply, Iran	0.387*** (0.109)	-	-	0.062 (0.054)	-	0.53	18
(4) PSD US exports 2002–2025 ~ Q_{US}, S_{US}, Q_{Iran}	-	0.816*** (0.112)	0.295*** (0.090)	−0.142* (0.073)	-	0.85	24
(5) PSD US exports ~ + $Q_{Türkiye}$	-	0.805*** (0.120)	0.288*** (0.092)	−0.147* (0.077)	−0.011 (0.030)	0.85	24
(6) = (1), excl. 2018/19–2019/20	1.022*** (0.247)	-	-	−0.178 (0.104)	-	0.81	16
(7) = (4), excl. 2018/19–2019/20	-	0.792*** (0.149)	0.262* (0.134)	−0.181 (0.173)	-	0.84	22

*Note: HC3 standard errors in parentheses; stars are based on the t(n − k) distribution: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10. (1)–(3) ACP marketing-year shipments (inshell equivalent), first differences 2008/09–2025/26; US supply = PSD beginning stocks + production. (4)–(5) PSD US exports, 2002/03–2025/26. (6)–(7): models (1) and (4) excluding 2018/19–2019/20.*

4.4. Per-ton effects (H3) and interpretation of the US stock coefficient

In Table 5, changes are scaled by lagged world availability. In the model with US stocks (column (3)), a US production increase equal to 1% of the previous year's availability is associated with a 1.48% decrease in price, and an other-origin increase of the same size with a 0.19% decrease. Equality is rejected at the 10% level (p = 0.097). This asymmetry depends on the choice of stock variable: with world stocks (column (1)), equality cannot be rejected (p = 0.37). Because the choice of stock variable cannot be settled statistically (Section 4.2), H3 is rejected only in the model with US stocks and only weakly. The per-ton effect of Iranian production (−0.69) cannot be distinguished from that of US production, and the per-ton effect of Türkiye+EU+Syria is not significantly different from zero. The per-ton effect of US stocks (−3.59) appears larger than that of US production, but the difference is not significant (p = 0.14).

Table 5. Per-ton effects (changes divided by A_{t-1}) and equality tests

Variable / test	(1) Comparison: S_{WLD}	(2) S_{US} + S_{ROW}	(3) S_{US}	(4) Iran / other ROW, S_{US}
$\Delta Q_{US}/A_{t-1}$	−1.091* (0.534)	−1.381 (0.851)	−1.483* (0.738)	−1.596* (0.768)
$\Delta Q_{ROW}/A_{t-1}$	−0.599** (0.268)	−0.443 (0.284)	−0.187 (0.229)	-
$\Delta Q_{Iran}/A_{t-1}$	-	-	-	−0.688* (0.387)
$\Delta Q_{TR+EU+SY}/A_{t-1}$	-	-	-	0.197 (0.287)
$\Delta S_{WLD}/A_{t-1}$	−2.655** (1.079)	-	-	-
$\Delta S_{US}/A_{t-1}$	-	−3.536 (2.103)	−3.588* (1.953)	−4.094** (1.801)
$\Delta S_{ROW}/A_{t-1}$	-	−1.547 (1.348)	-	-
R^2	0.36	0.38	0.35	0.46
n	24	24	24	24
p($\gamma_{US} = \gamma_{ROW}$)	-	0.476	-	-
p($\beta_{US} = \beta_{ROW}$)	0.368	-	0.097	-
p($\beta_{US} = \beta_{ROW} = \gamma$)	0.108	-	0.208	-
p($\beta_{US} = \gamma_{US}$)	-	-	0.140	0.050
p($\beta_{US} = \beta_{Iran}$)	-	-	-	0.324
p($\beta_{US} = \beta_{ROW}$), HAC	-	-	0.013	-

Note: HC3 standard errors in parentheses; stars are based on the t(n − k) distribution. Equality tests are HC3 Wald tests; the "HAC" row gives the HAC(2) p-value of the same test.

The August 31 stock is determined at a time when, owing to alternate bearing, the next harvest is largely predictable. That stocks are fixed at the start of the season does not prevent them from reflecting previous-year and expected demand conditions. The US stock coefficient may therefore be biased through two channels. In the speculative-stock channel, handlers carry over more stocks when they expect higher prices in the following year. Because carry-in stocks are then positively correlated with expected demand conditions, the coefficient is pulled toward zero. In the unsold-stock channel, weak demand leads both to stock accumulation and to persistently low prices. If demand shocks are persistent, the coefficient appears more negative. The sign of the bias is therefore ambiguous. That the per-ton stock effect (−3.59) appears larger than the production effect (−1.48) is consistent with the second channel. Because the production component of the identity is a weak instrument (first-stage F = 2.0), the two channels cannot be separated with instrumental variables. When lagged US use growth is added to the baseline model, its coefficient is 0.30 (p = 0.24), while the US stock coefficient remains at −0.31 (p = 0.046). This control does not rule out the second channel. The stock coefficient is therefore interpreted as a short-run conditional association rather than a causal effect.

4.5. Monthly module

The log correlation between GATS inshell export quantity and ACP export shipments is 0.93. The correlation between the marketing-year average export unit value and the NASS grower price is 0.79 in levels and 0.57 in log differences. In row (A) of Table 6, the flexibility with

respect to beginning-of-month net remaining supply is estimated at −0.29 (WCB p = 0.02). When this variation is decomposed (row (C)), the flexibility with respect to annual net supply is −0.39 (WCB p = 0.002), while the coefficient on the within-year remaining share is 0.00 (WCB p = 0.97). When marketing-year fixed effects are added (B), the coefficient based on within-year variation shrinks to −0.05 and is significant at the 10% level (WCB p = 0.08). Excluding the October 2025 observation, whose deflator is interpolated (n = 175), leaves the (A) and (C) results unchanged; the (B) coefficient remains at −0.05, and its WCB p-value rises to 0.10. Iranian and other-origin production show no significant relationship with the unit value when added to the model.

These findings indicate that the export unit value is related to the level of annual supply, while no significant relationship with within-year stock drawdown is detected at the 5% level. However, because 89% of the variance of the remaining share variable is explained by month fixed effects, the power of this test is limited; the 95% confidence interval for the remaining share coefficient is [−0.10, 0.10]. The weak negative coefficient in model (B) is consistent with unit values rising modestly as remaining supply declines. In the HS 080251 period (2012–2025 harvests), the log change between pre-harvest June–August and post-harvest November–January average unit values is associated with the change in annual supply with a flexibility of −0.24 (SE 0.04; R^2 = 0.65; n = 14; Figure 4, left panel). Excluding the 2016 harvest, which has the highest leverage (h = 0.55), the slope is −0.21 (SE 0.08; n = 13). In the full sample (2009–2025), the result is unchanged (−0.23; n = 17). In the HS 080251 period, the marketing-year average unit value is associated in first differences with US production, US carry-in stocks, and other-origin production with flexibilities of −0.297, −0.160 and −0.075, respectively (Table 7). The signs are the same as in the annual grower price model, and the magnitudes are about half as large.

Table 6. Monthly real inshell export unit value regressions, 2012M01–2026M08

Model	ln **annual net supply**	ln **remaining share (within year)**	ln **remaining supply (beginning of month)**	R^2	**n**	**WCB p**
(A) ln remaining supply (beginning of month) + month FE	-	-	−0.288** (0.074)	0.62	176	0.016
(B) + marketing-year FE (within year)	-	-	−0.053* (0.029)	0.95	176	0.076
(C) annual supply + within-year remaining share	−0.392*** (0.062)	0.002 (0.048)	-	0.76	176	0.002 / 0.969

*Note: The dependent variable is ln real export unit value ($/kg, 2025/26 prices; the October 2025 deflator is interpolated, Section 3.4). All models include month fixed effects and the ln real dollar index (coefficient not shown); (B) also includes marketing-year fixed effects. Supply variables are net supply measures on an inshell-equivalent basis (Section 3.4). Standard errors clustered by marketing year in parentheses (15 clusters); WCB p is the restricted wild cluster bootstrap p-value (for (C), annual supply / remaining share); stars are based on WCB p-values: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10.*

Table 7. Marketing-year average real export unit value: first-difference estimates

Variable	(1) HS 080251	(2) HS 080251, Iran	(3) Full sample	(4) Full sample, Iran
$\Delta \ln Q_{US}$	−0.297*** (0.049)	−0.264*** (0.049)	−0.282*** (0.083)	−0.237** (0.103)
$\Delta \ln S_{US}$	−0.160** (0.052)	−0.144** (0.046)	−0.145* (0.075)	−0.114 (0.079)
$\Delta \ln Q_{ROW}$	−0.075 (0.065)	-	−0.069 (0.053)	-
$\Delta \ln Q_{Iran}$	-	0.022 (0.031)	-	0.030 (0.034)
R^2	0.72	0.68	0.54	0.53
n	13	13	17	17

*Note: HC3 standard errors in parentheses; stars are based on the t(n − k) distribution: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10. (1)–(2): HS 080251 only, first differences 2013/14–2025/26 (n = 13). (3)–(4): first differences 2009/10–2025/26 (n = 17); for 2011/12 and earlier, the GATS series relies on HS 080250, which combines inshell and shelled product.*

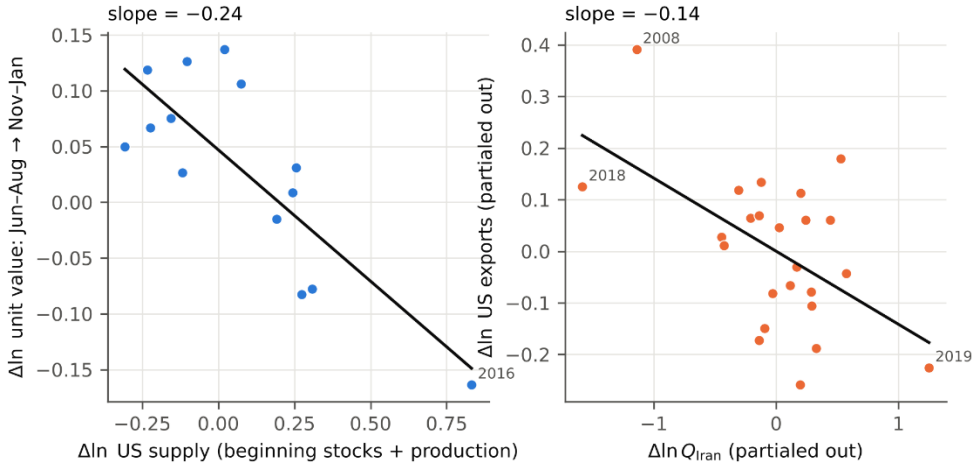


Figure 4. Left: change in export unit value between pre-harvest (Jun–Aug) and post-harvest (Nov–Jan) and change in annual US supply, 2012–2025 harvests. Right: partial response of US exports to Iranian production (PSD, 2002/03–2025/26).

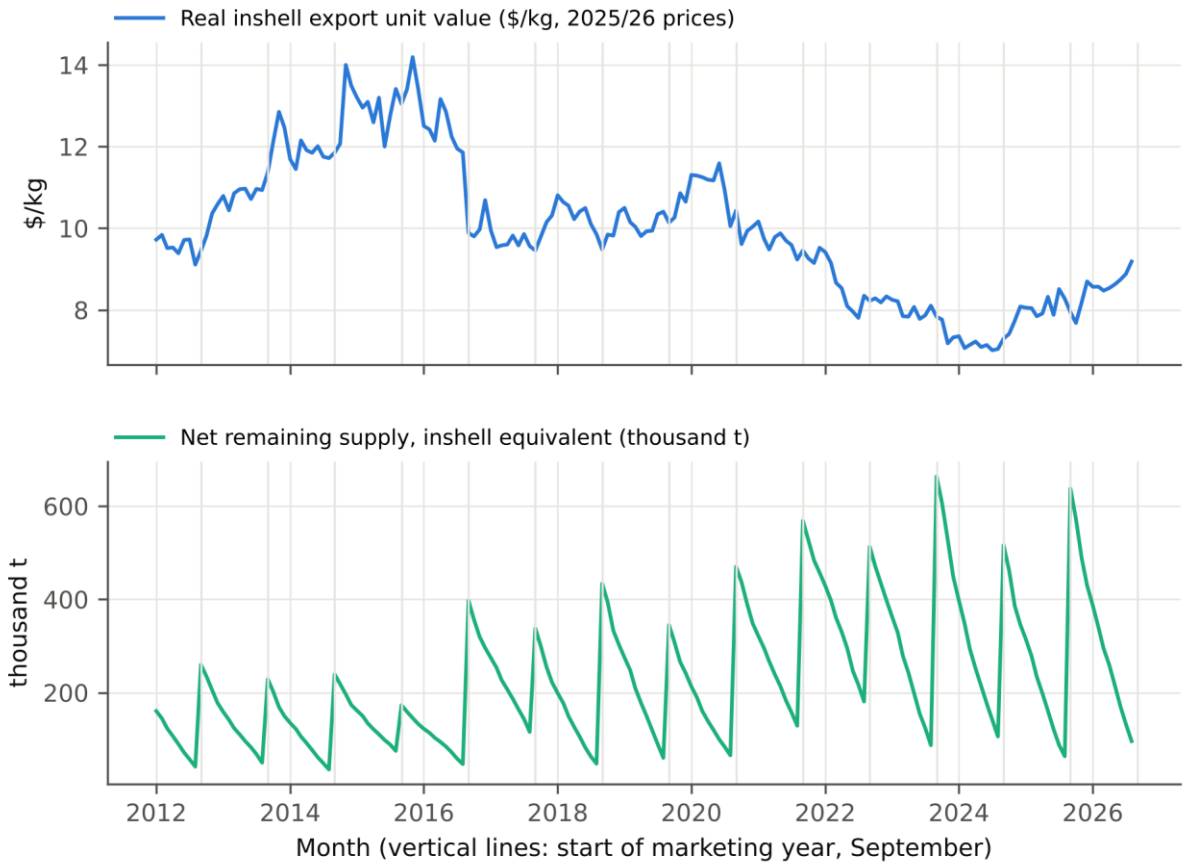


Figure 5. Real inshell export unit value (top) and ex post reconstructed net remaining supply (bottom, inshell equivalent), 2012M01–2026M08; vertical lines mark the start of each marketing year.

4.6. Robustness and out-of-sample evaluation

Table 8 reports variants of the baseline model. The signs and magnitudes of the US production and stock coefficients are preserved when nominal prices are used; when recent years, 2018/19–2019/20, or 2020/21 are excluded; and when tariff and pandemic dummies, the exchange rate, the lagged price change and level, or demand controls are added. The other-origin coefficient is not significant in most variants. In the 12-observation subperiods, the coefficients keep their signs but are not significant. In leave-one-year-out estimates, the coefficients lie within [−0.58, −0.34] for US production, [−0.28, −0.15] for other-origin production, and [−0.37, −0.22] for US stocks. The interaction of US production with the US share of world production is not significant ($p = 0.50$; Table 8). The interaction with the ratio of carry-in stocks to previous-year US use is not significant either (−0.62; $p = 0.32$). The 95% confidence interval of this interaction ([−1.87, 0.64]) is too wide to determine in which direction stock levels change the flexibility.

The final years of the sample coincide with a notable demand shock. The 2025 crop, an on-year crop, set a record; nevertheless, the nominal grower price rose from $2.25/lb to $2.48/lb. Industry sources report that the use of kernels in confectionery products such as chocolate and paste grew rapidly in this period and that global kernel supplies tightened (Johansson, 2025). Data for 2025/26 are also preliminary. Excluding 2025/26 alone, or 2023/24–2025/26, leaves the coefficients essentially unchanged (Table 8). In the model, the 2025/26 price increase is

attributed mainly to declines in US carry-in stocks and other-origin production ($\Delta \ln S_{US} = -0.51$; $\Delta \ln Q_{ROW} = -0.49$), and the residual for this year does not appear unusual (−0.08; residual standard deviation 0.20). Because the demand increase is also reflected in the drawdown of carry-in stocks, the stock variable may carry demand information in this year (Section 4.4).

Because the lagged price level is significant in the first-difference model (coefficient −0.34), suggesting reversion toward a levels relationship, a levels relationship is tested with the bounds test of Pesaran et al. (2001). In the unrestricted error correction model that includes all lagged level terms, the F-statistic for the lagged levels is 3.57. This value is below the 10% lower-bound critical value (3.92; upper bound 5.38) for n = 24 and k = 3. The critical values are obtained by simulation with 40,000 replications for n = 24 and k = 3 under Case V of Pesaran et al. (2001) (unrestricted intercept and trend), following the approach of Narayan (2005); Narayan's (2005) tables cover samples of at least 30 observations and are therefore not used directly. The t-statistic on the lagged price (−1.11) is also smaller in absolute value than the I(0) (lower) bound (−3.11). There is thus insufficient evidence for a levels relationship between price and the supply variables, and the long-run multipliers implied by this model are uninformative (3.24 for US production; SE 5.61). The first-difference representation, which excludes the lagged level terms, is consistent with the data, and the estimates should be interpreted as short-run conditional associations. In this model, the correlation between $\Delta \ln Q_{US,t}$ and detrended $\ln Q_{US,t-1}$ is −0.88, so the short-run US production coefficient becomes imprecise (−0.20; SE 0.25), whereas the US stock coefficient remains stable (−0.40; Table 8, last row). The precision of the US production coefficient therefore depends on the choice of representation.

In recursive forecasts conditional on realized supply (2014/15–2025/26), no statistically significant difference is found between the forecast accuracy of the baseline and comparison models (RMSE 0.235 and 0.241; modified Diebold–Mariano (HLN) test p = 0.79; Diebold & Mariano, 1995; Harvey et al., 1997).

Table 8. Robustness checks for the baseline model

Variant	$\Delta \ln Q_{US}$	$\Delta \ln Q_{ROW}$	$\Delta \ln S_{US}$	R^2	n
Baseline	−0.532** (0.227)	−0.197 (0.126)	−0.317** (0.145)	0.37	24
Nominal price	−0.510** (0.238)	−0.200 (0.126)	−0.301* (0.148)	0.35	24
HAC(2) SE	−0.532*** (0.155)	−0.197** (0.085)	−0.317** (0.115)	0.37	24
+ $\ln P_{t-1}$	−0.464** (0.167)	−0.154 (0.123)	−0.261* (0.125)	0.51	24
+ GDP + Δln dollar	−0.619* (0.310)	−0.233 (0.158)	−0.380* (0.195)	0.41	24
Excl. 2025/26 (preliminary)	−0.543** (0.230)	−0.221 (0.147)	−0.329** (0.153)	0.38	23
Excl. 2023/24–2025/26	−0.537** (0.246)	−0.231 (0.156)	−0.340** (0.160)	0.38	21
Excl. 2018/19–2019/20 (tariffs)	−0.508** (0.227)	−0.165 (0.128)	−0.270* (0.136)	0.38	22
Excl. 2020/21	−0.565** (0.256)	−0.236 (0.168)	−0.339* (0.167)	0.37	23
2002/03–2013/14	−0.398 (0.276)	−0.145 (0.262)	−0.204 (0.183)	0.23	12
2014/15–2025/26	−0.635 (0.417)	−0.211 (0.274)	−0.449 (0.286)	0.59	12
+ tariff and 2020 dummies	−0.533* (0.270)	−0.215 (0.170)	−0.312* (0.172)	0.40	24
+ Δln EUR/USD	−0.524* (0.256)	−0.189 (0.150)	−0.313* (0.158)	0.37	24
+ $\Delta \ln P_{t-1}$	−0.537** (0.229)	−0.203 (0.132)	−0.317* (0.151)	0.38	23
US share interaction	−0.464** (0.198)	−0.216 (0.163)	−0.309** (0.134)	0.41	24
Unrestricted ECM (lagged levels and trend added)	−0.201 (0.246)	−0.291 (0.260)	−0.398*** (0.135)	0.70	24

*Note: HC3 standard errors in parentheses (except in the HAC(2) row); stars are based on the $t(n - k)$ distribution: *** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.10$. The last row gives the short-run coefficients of the unrestricted error correction model in which lagged levels (*ln *P*, $\ln Q_{US}$, $\ln Q_{ROW}$, $\ln S_{US}$*) and a trend are added to the first-difference model.*

5. DISCUSSION

The estimates are short-run conditional associations. Because carry-in stocks may carry information on the previous year's demand conditions and this distinction cannot be made with instrumental variables, the coefficients should not be read as causal effects. The first finding is that the other-origin production coefficient is sensitive to the composition of the stock variable. With the inshell-equivalent conversion, PSD US stocks match the ACP's estimated marketable inventory based on handler reports, whereas most of world stocks in recent years consist of estimates for Türkiye whose methodology is undocumented. Because other-origin stocks and production are negatively correlated, the two models yield different other-origin production coefficients, and the coefficient's absolute value is larger in the model with world stocks. The two models have similar explanatory power, no statistically significant difference is found in their out-of-sample forecast accuracy, and neither model's restriction is rejected in per-ton form.

Which coefficient is closer to the true effect therefore cannot be inferred from the data. The own effect of other-origin stocks cannot be determined because it depends on the stock definition, the scaling (log vs. per-ton), and a small number of influential years. The study's contribution in this area is to show, by reconciling the stock item at the source level, that the other-origin production coefficient is sensitive to the stock definition.

The second finding is that the effect sizes of US and other-origin supply changes cannot be distinguished with these data. The US production coefficient is larger and more precisely estimated, but the difference between the two coefficients is not significant, and the per-ton asymmetry depends on the choice of stock variable. Within other origins, the relationship is concentrated in Iranian production. That Iranian production appears related to US export volume but not to export unit values is consistent with a mechanism in which Iranian product displaces US product in third markets: while price levels move together in the long run, short-run competition may take place through quantity adjustment. This is a mechanism hypothesis that is consistent with the current results but has not been tested with destination-country data. The hypothesis is consistent with Asgari and Saghaian's (2013) finding of US quantity leadership in the Japanese market and with the long-run US–Iran co-movement in export prices found by Şengül Abedı (2025). Because the Iran coefficient in the price equation depends on 2018/19–2019/20, it is difficult to separate the result from trade policy shocks. The absence of a significant relationship for Turkish production may reflect the fact that most of it is consumed domestically (Temel & Aksoy, 2020).

The monthly module supports the annual findings using a second price measure; because both series belong to the same market, this is not an independent validation. The export unit value is related to the level of annual supply. No significant relationship with within-year stock drawdown is detected, but because most of the variation in the remaining share variable overlaps with month effects, the power of this test is limited. That the flexibility of the grower price is about twice that of the export unit value is consistent with the explanation that the processing margin partly buffers the FOB price. Because unit values also reflect quality and destination mix, this difference cannot be attributed to margin behavior alone.

The study has the following limitations. Stock endogeneity cannot be addressed with instrumental variables, and the sign of any bias remains ambiguous. Because no levels relationship is detected, the precision of the US production coefficient depends on the first-difference representation. Other-origin production data, particularly for Iran and Syria, may differ from national sources, and FAO production figures for Iran are markedly above PSD values. The monthly remaining supply series is an ex post reconstruction. Values for 2025/26 are preliminary, and this year coincides with a demand shock.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study estimated the short-run conditional association between the US pistachio grower price and origin-specific production changes and carry-in stocks, taking into account the geographic scope of stocks. The main results can be summarized as follows. (i) Increases in US production and US carry-in stocks are associated with marked declines in the real grower price; the precision of the US production coefficient depends on the first-difference representation. (ii) The PSD US stock series is the inshell equivalent of the ACP's estimated marketable inventory based on handler reports; the other-origin production coefficient is sensitive to the stock definition, and its absolute value is larger in the model with world stocks. (iii) Evidence on other-origin production is weak, and the relationship between Iranian production and the US price, although consistent with an export volume channel, depends on a small number of years. (iv) The effects of US and other-origin supply changes cannot be distinguished, and the effect

of other-origin stocks cannot be determined, with these data. (v) In the monthly data, the export unit value is related to the level of annual supply; no significant relationship with within-year stock drawdown is detected at the 5% level, but because most of the variation in the remaining share variable overlaps with month effects, the power of this test is limited.

The main implication for policy and industry is that, in market monitoring systems, the source and unit definition of stock data matter as much as the reported quantities. Developing inventory reporting based on handler reports for Türkiye and Iran would increase the information value of the world balance sheet. The 200,000 t Turkish stock estimate following a record production year may be plausible, but it cannot be verified.

Three directions are proposed for further research: (i) examining how harvest information is priced, using expectation measures based on preseason crop estimates and in-season crop receipts data; (ii) testing the volume channel directly by combining US, Iranian, and Turkish exports by destination country; and (iii) estimating a structural storage model with monthly stock and price data.

REFERENCES

Adjemian, M. K., & Smith, A. (2012). Using USDA forecasts to estimate the price flexibility of demand for agricultural commodities. *American Journal of Agricultural Economics, 94*(4), 978–995. https://doi.org/10.1093/ajae/aas032

Administrative Committee for Pistachios. (2009–2026). *Pistachio industry inventory/shipment reports* [August year-end reports]. Retrieved November 7, 2026, from https://acpistachios.org/industry-resources/statistics-archives/

Aksoy, A., Atsan, T., & Yavuz, F. (2002). Türkiye Antepfıstığı sektörünün ekonometrik analizi [Econometric analysis of the Turkish pistachio sector]. In *Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi* [5th Turkish Agricultural Economics Congress] (pp. 388–394), September 18–20, 2002, Erzurum, Türkiye.

Asgari, M., & Saghaian, S. H. (2013). Oligopolistic market structure in the Japanese pistachio import market. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization, 11*(1), 87–99. https://doi.org/10.1515/jafio-2013-0005

Aşkan, E. (2019). Economic analysis and marketing margin of pistachios in Turkey. *Bulletin of the National Research Centre, 43*(1), Article 177. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0216-5

Barten, A. P., & Bettendorf, L. J. (1989). Price formation of fish: An application of an inverse demand system. *European Economic Review, 33*(8), 1509–1525. https://doi.org/10.1016/0014-2921(89)90075-5

Bayramoğlu, Z., & Gündoğmuş, E. (2007). Dünya fındık piyasasının analizi [Analysis of the world hazelnut market]. *Ekonomik Yaklaşım, 18*(65), 71–89. https://doi.org/10.5455/ey.10644

Bobenrieth, E., Wright, B., & Zeng, D. (2013). Stocks-to-use ratios and prices as indicators of vulnerability to spikes in global cereal markets. *Agricultural Economics, 44*(s1), 43–52. https://doi.org/10.1111/agec.12049

Cameron, A. C., Gelbach, J. B., & Miller, D. L. (2008). Bootstrap-based improvements for inference with clustered errors. *Review of Economics and Statistics, 90*(3), 414–427. https://doi.org/10.1162/rest.90.3.414

Carter, C. A., Rausser, G. C., & Smith, A. (2011). Commodity booms and busts. *Annual Review of Resource Economics, 3*(1), 87–118. https://doi.org/10.1146/annurev.resource.012809.104220

Chizari, A. H., & Sadafi Abkenar, S. (2020). Impact of price and non-price factors on the Iranian pistachios market. *Journal of Agricultural Science and Technology, 22*(6), 1415–1430. https://jast.modares.ac.ir/article_16491.html

Crane, J. C., & Nelson, M. M. (1971). The unusual mechanism of alternate bearing in the pistachio. *HortScience, 6*(5), 489–490. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.6.5.489

Davidson, R., & Flachaire, E. (2008). The wild bootstrap, tamed at last. *Journal of Econometrics, 146*(1), 162–169. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2008.08.003

Deaton, A., & Laroque, G. (1992). On the behaviour of commodity prices. *Review of Economic Studies, 59*(1), 1–23. https://doi.org/10.2307/2297923

Deaton, A., & Laroque, G. (1996). Competitive storage and commodity price dynamics. *Journal of Political Economy, 104*(5), 896–923. https://doi.org/10.1086/262046

Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics, 13*(3), 253–263. https://doi.org/10.1080/07350015.1995.10524599

Doğan Öz, B., & Saner, G. (2023). Siirt, Batman ve Gaziantep illerinde fıstık işleme tesislerinin sürdürülebilirliği [Sustainability of pistachio processing facilities in Siirt, Batman and Gaziantep provinces]. *Tarım Ekonomisi Dergisi, 29*(2), 117–130. https://doi.org/10.24181/tarekoder.1396452

Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association, 82*(397), 171–185. https://doi.org/10.1080/01621459.1987.10478410

Elbistanlı, Ö., Kantar Davran, M., & Emeksiz, Ö. F. (2020). Gaziantep ili antepfıstığı ihracat pazarlama organizasyonu [Gaziantep province pistachio export marketing organization]. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 19*(74), 724–749. https://dergipark.org.tr/tr/pub/esosder/article/596515

Engindeniz, S. (2007). Meyve arazilerinde gelir yöntemine göre değer takdiri: Antepfıstığı örneği [Valuation of orchard land by the income method: The case of pistachio]. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 44*(3), 75–87.

Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026). *Federal Reserve Economic Data (FRED): CPIAUCNS (BLS CPI-U), EXUSEU (U.S. dollar/euro exchange rate), and RTWEXBGS and TWEXBPA (real broad dollar index)* [Data set]. Retrieved November 1, 2026, from https://fred.stlouisfed.org/

French, B. C., & Matthews, J. L. (1971). A supply response model for perennial crops. *American Journal of Agricultural Economics, 53*(3), 478–490. https://doi.org/10.2307/1238225

Gelman, A., & Stern, H. (2006). The difference between "significant" and "not significant" is not itself statistically significant. *The American Statistician, 60*(4), 328–331. https://doi.org/10.1198/000313006X152649

Gökdoğan, O., Baran, M. F., Eren, Ö., & Oğuz, H. İ. (2022). Determination of energy use efficiency and greenhouse gas (GHG) emissions of pistachio (*Pistacia vera* L.) production in Adıyaman province. *Erwerbs-Obstbau, 64*(2), 291–297. https://doi.org/10.1007/s10341-021-00613-2

Gray, R. S., Sumner, D. A., Alston, J. M., Brunke, H., & Acquaye, A. K. A. (2005). *Economic consequences of mandated grading and food safety assurance: Ex ante analysis of the federal marketing order for California pistachios* (Giannini Foundation Monograph No. 46). Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California. https://doi.org/10.22004/ag.econ.11935

Gustafson, R. L. (1958). *Carryover levels for grains: A method for determining amounts that are optimal under specified conditions* (Technical Bulletin No. 1178). U.S. Department of Agriculture. https://doi.org/10.22004/ag.econ.157231

Harvey, D., Leybourne, S., & Newbold, P. (1997). Testing the equality of prediction mean squared errors. *International Journal of Forecasting, 13*(2), 281–291. https://doi.org/10.1016/S0169-2070(96)00719-4

Houck, J. P. (1965). The relationship of direct price flexibilities to direct price elasticities. *Journal of Farm Economics, 47*(3), 789–792. https://doi.org/10.2307/1236288

Johansson, H. (2025, October 22). Food trends boost pistachio market as production rises. *Ag Alert*. https://www.agalert.com/california-ag-news/archives/october-22-2025/food-trends-boost-pistachio-market-as-production-rises/

Khezri, M., Heerema, R., Brar, G., & Ferguson, L. (2020). Alternate bearing in pistachio (*Pistacia vera* L.): A review. *Trees, 34*(4), 855–868. https://doi.org/10.1007/s00468-020-01967-y

MacKinnon, J. G., & White, H. (1985). Some heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimators with improved finite sample properties. *Journal of Econometrics*, *29*(3), 305–325. https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90158-7

Mahmoodzadeh, M., & Zibaei, M. (2004). Barrasi-ye avamel-e moasser bar saderat-e peste-ye Iran: Yek tahlil-e hamjam'i [Study of factors affecting pistachio export in Iran: A co-integration analysis]. *Eqtesad-e Keshavarzi va Towse'e, 12*(46), 137–158.

Narayan, P. K. (2005). The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. *Applied Economics, 37*(17), 1979–1990. https://doi.org/10.1080/00036840500278103

Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica, 55*(3), 703–708. https://doi.org/10.2307/1913610

Özdemir, F., & Aksoy, A. (2024). Pistachio production quantity estimate 2022–2030: Evidence from leading countries and Türkiye using the ARIMA model. *Applied Fruit Science, 66*(6), 2269–2277. https://doi.org/10.1007/s10341-024-01198-2

Öztep, R. (2023). *Siirt fıstığında değer zinciri analizi* [Value chain analysis on Siirt pistachio] [Master's thesis, Ege University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis No. 796390).

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics, 16*(3), 289–326. https://doi.org/10.1002/jae.616

Rabadán, A., & Triguero, Á. (2021). Influence of food safety standards on trade: Evidence from the pistachio sector. *Agribusiness, 37*(3), 489–514. https://doi.org/10.1002/agr.21683

Şengül Abedı, Z. (2025). Türkiye, İran ve ABD Antep fıstığı ihracat fiyatlarında yaptırım şokuna bağlı asimetrik pazar entegrasyonu: VECM tabanlı bir analiz [Asymmetric market integration in Turkish, Iranian and US pistachio export prices under a sanctions shock: A VECM-based analysis]. In *EFES International Scientific Research and Innovation Congress-III* (pp. 799–816), September 13–15, 2025, İzmir, Türkiye.

Siegle, J., Astill, G., Plakias, Z., & Tregeagle, D. (2024). Estimating perennial crop supply response: A methodology literature review. *Agricultural Economics, 55*(2), 159–180. https://doi.org/10.1111/agec.12812

Temel, O., & Aksoy, A. (2020). Türkiye Antepfıstığı sektörünün eşanlı model yöntemiyle tahmini [Simultaneous model estimation of Turkey pistachio sector]. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 30*(1), 80–89. https://doi.org/10.29133/yyutbd.661104

Tomek, W. G., & Kaiser, H. M. (2014). *Agricultural product prices* (5th ed.). Cornell University Press.

U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2024, September 30). *Turkiye: Tree nuts annual* (GAIN Report No. TU2024-0046). https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Tre

e%20Nuts%20Annual_Ankara_Turkiye_TU2024-0046.pdf
U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2026a). *Production, supply and distribution online: Tree nuts* [Data set, October 29, 2026 release]. Retrieved November 1, 2026, from https://apps.fas.usda.gov/psdonline/
U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2026b). *Global agricultural trade system (GATS): HS 080250, 080251, and 080252 monthly exports* [Data set]. Retrieved November 1, 2026, from https://apps.fas.usda.gov/gats/
U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. (2026). *Quick Stats: Pistachios* [Data set]. Retrieved November 1, 2026, from https://quickstats.nass.usda.gov/
Williams, J. C., & Wright, B. D. (1991). *Storage and commodity markets*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511571855
World Bank. (2026). *World development indicators: GDP growth (annual %), World (NY.GDP.MKTP.KD.ZG)* [Data set]. Retrieved November 1, 2026, from https://data.worldbank.org/
Wright, B. D. (2011). The economics of grain price volatility. *Applied Economic Perspectives and Policy, 33*(1), 32–58. https://doi.org/10.1093/aepp/ppq033
Yavuz, F., Birinci, A., Peker, K., & Atsan, T. (2005). Econometric modeling of Turkey's hazelnut sector: Implications on recent policies. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29*(1), 1–7. https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol29/iss1/1/
Zheng, Z., Saghaian, S. H., & Reed, M. R. (2012). Factors affecting the export demand for U.S. pistachios. *International Food and Agribusiness Management Review, 15*(3), 139–154. https://doi.org/10.22004/ag.econ.133490

TÜRKİYE'DE AGRİVOLTAİK (TARIMGES) SİSTEMLER: ÜRÜN UYGUNLUĞU, ARAZİ YÖNETİŞİMİ VE KONYA ŞEKER PANCARI İÇİN EKONOMİK EŞİK ANALİZİ

Assoc. Prof. Dr. Zekiye ŞENGÜL ABEDI
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Siirt, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2496-2867

ÖZET
Agrivoltaik (TarımGES) sistemler, tarımsal üretim ile fotovoltaik elektrik üretimini aynı parselde birleştiren çift amaçlı arazi kullanımıdır. Bu çalışmada Türkiye için TarımGES ürün uygunluğunun sınıflandırılması, Konya şeker pancarında TarımGES yatırımının işletme düzeyindeki yapılabilirlik koşullarının 2026 saatlik mahsuplaşma rejimi altında belirlenmesi ve ulusal standart için bir çerçeve önerilmesi amaçlanmıştır. Ulusal kanıt, tarımsal önem, su–enerji yoğunluğu ve ekipman uyumu ölçütleriyle yapılan nitel taramada şeker pancarı analitik öncelik, marul ile domates–biber saha doğrulama, buğday–arpa karşılaştırma ve kayısı uzun dönemli araştırma grubuna ayrılmıştır. Ekonomik analizde 1 hektarlık referans parsel yayımlanmış 66 kWp'lik TarımGES ünitesiyle eşleştirilmiş; üretim PVGIS ile (kirlenme hariç) hesaplanmış, elektriğin eşdeğer değeri 25–100 ha sulu alanlı işletmelerin saatlik pompaj yükünden bedelli üretim limiti ve on yıl sonrası satış kuralları altında türetilmiş; başa baş yatırım maliyeti ile başa baş verim koruma oranından (YRR*) türetilen kayıp toleransı iki vergi konumu için hesaplanmıştır. Eşdeğer değerin işletme büyüklüğüyle arttığı ancak sulama takvimi nedeniyle yaklaşık 0,066 USD/kWh'de doyduğu; %8 reel iskonto ve 2026 tarifelerinde elektrik gelirinin hiçbir ölçekte yaklaşık 914 USD/kWp'nin üzerindeki yatırımı karşılayamadığı bulunmuştur. %20'lik TarımGES priminin tek ölçüm noktalı ve yaklaşık 80 ha'yı (senaryolara göre 48–159 ha) aşan işletmelerde dar bir marjla karşılandığı, ihtiyatlı üretimde ya da KDV indirilemediğinde hiçbir ölçekte karşılanmadığı; %73'lük yükseltilmiş yapı priminin karşılanamadığı ve 100 ha'da kayıp toleransının %1,1'de kaldığı saptanmıştır. Aynı bağlantı ve bedelli satış koşullarında, %20 prim varsayımıyla kompakt sulama amaçlı santral TarımGES'e göre avantajlıdır. Bulgular, ulusal standartta tarımsal koruma tabanı (kamusal uygunluk) ile ekonomik yapılabilirliğin (özel yapılabilirlik) ayrı koşullar olarak tanımlanması ve kararın panel altı verim ölçümüne bağlanması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: agrivoltaik (TarımGES); şeker pancarı; başa baş verim koruma oranı; saatlik mahsuplaşma; su–enerji–gıda bağlantısı

AGRIVOLTAIC (AGRI-PV) SYSTEMS IN TÜRKİYE: CROP SUITABILITY, LAND GOVERNANCE AND A BREAK-EVEN ANALYSIS FOR SUGAR BEET IN KONYA PROVINCE

ABSTRACT
Agrivoltaic (Agri-PV) systems combine crop production and photovoltaic generation on the same parcel as dual-purpose land use. This study classifies agrivoltaic crop suitability in Türkiye, determines the farm-level feasibility of agrivoltaic investment in Konya sugar beet under 2026 hourly netting, and proposes a national-standard framework. A qualitative screen on domestic evidence, agricultural importance, water–energy intensity, and equipment

compatibility ranked sugar beet as analytical priority, lettuce and tomato–pepper for field validation, wheat–barley for benchmarking, and apricot for long-term research. A 1 ha reference parcel was coupled with a published 66 kWp unit; generation followed PVGIS (excluding soiling), electricity was valued against the hourly pumping load of 25–100 ha irrigated farms under the paid-generation limit and post-ten-year sales rules, and break-even investment cost and loss tolerance from the break-even yield retention ratio (YRR*) were derived for two VAT positions. The equivalent value rises with farm size but saturates near USD 0.066/kWh, set by the irrigation calendar; at 8% real discount and 2026 tariffs, electricity revenue cannot cover investment above USD 914/kWp at any scale. The 20% agrivoltaic premium is covered narrowly on single-metering-point farms above 80 ha (48–159 ha by scenario) and never under conservative yield or non-recoverable VAT; the 73% elevated-structure premium is never covered and loss tolerance at 100 ha is 1.1%. Under identical connection and surplus-sale conditions and a 20% premium, compact irrigation PV outperforms agrivoltaics. A national standard should treat the agricultural-protection floor (public eligibility) and economic feasibility (private feasibility) as separate conditions, tied to measured under-panel yields.

Keywords: agrivoltaics (Agri-PV); sugar beet; break-even yield retention ratio; hourly netting; water–energy–food nexus

1. INTRODUCTION

Climate change, rising food demand, the decarbonization of the power system, and tightening water constraints require agricultural land to be treated as a strategic resource at the intersection of energy, water, and ecosystem services. The rapid fall in photovoltaic (PV) costs has made ground-mounted solar plants competitors for productive farmland, and in regions with high land values, irrigation investment, and fragmented ownership this competition has become an economic and institutional problem. Building on the observation that light can be shared between crops and modules, the agrivoltaic approach reframes the dilemma as the joint optimization of two production functions on the same land (Goetzberger & Zastrow, 1982; Dupraz et al., 2011); studies modeling radiation sharing have shown that the trade-off between module density and crop yield lies at the center of design (Amaducci et al., 2018; Trommsdorff et al., 2021, 2025).

From an agricultural economics perspective, the key question is how the electricity produced changes total farm value together with crop revenue, water and energy costs, risk, and land rent. An agrivoltaic system is therefore a joint-production problem in which farming remains the primary land use. Labeling as agrivoltaic a PV project in which primary agricultural use has effectively disappeared, merely because a few crop rows remain, undermines the economic and legal substance of the concept; the main contribution of the German DIN SPEC 91434 standard is that it defines agricultural activity as a measurable primary use (DIN, 2021).

In Türkiye the field has accelerated since 2023. The ODTÜ-GÜNAM open-field pilot in Ayaş and studies of farmer perceptions (Ağır et al., 2023; Şentürk et al., 2025), national potential mapping (Coşgun et al., 2024; Kırbaş, 2025), photosynthetic photon flux density (PPFD)-based designs specific to sugar beet and wheat in Central Anatolia (Yalçın et al., 2025a; Kuzyaka et al., 2026), a lettuce experiment in Bursa (Günhan & Taşkın, 2025), an IoT-based decision-support pilot (Gümüş et al., 2026), an apricot platform in Kayseri (Yalçın et al., 2025b), and an assessment of a 66 kWp sugar-beet agrivoltaic system (Kayabaşı, 2026) together form a research ecosystem built on different layers of evidence. The regulatory framework was also rebuilt in 2026. The unlicensed generation rules, revised by the amendment of April 2, 2026,

provide for hourly netting and a paid-generation limit of twice the associated consumption (Official Gazette, 2026a; Energy Market Regulatory Authority [EPDK], 2026b); Presidential Decision No. 11415 redefined the sale price for facilities that have completed the ten-year purchase period (Presidential Decision, 2026); and the new Regulation on the Protection and Use of Agricultural Land changed the legal basis for solar investment on farmland (Official Gazette, 2026b). Because these changes tie the value of electricity to the farm's consumption profile and to the period within the investment lifetime, they determine how the economic analysis must be set up.

Analyses combining crop and electricity returns in a single farm budget exist in the international literature: Khanna et al. (2026) examined break-even conditions for growers and investors for soybean in the US Midwest, Feuerbacher et al. (2022) farm-level adoption potential in Germany, Agostini et al. (2021) economic and environmental performance, and Cuppari et al. (2021) the diversification value of agrivoltaic income against weather risk, while Laub et al. (2022) classified the yield responses of crop groups to shade by meta-analysis. Şentürk (2023) conducted a revenue–expenditure analysis for agrivoltaics; the publications closest to the present study are Kayabaşı (2026), which defines the unit used in this analysis, and Ozcanli and Dogan (2026), who compared grid-connected and off-grid solar water pumping for sugar-beet irrigation in Konya. The former evaluates economics through an undiscounted payback period, substituting all output for the retail tariff and disregarding yield loss; the latter, although it uses measured hourly generation data and a crop-specific irrigation schedule, calculates the avoided cost on an annual basis in its cash-flow model and covers neither yield loss nor the 2026 hourly netting rules. In Türkiye there is neither an economic threshold analysis that combines the two outputs in a single farm budget under the current netting regime nor a national agrivoltaic category that jointly defines crop performance, soil–water protection, and reversibility. This study adapts the approach to Türkiye in three respects: (i) it performs a qualitative crop-suitability classification based on national evidence, agricultural importance, water–energy intensity, and equipment compatibility; (ii) for Konya sugar beet, it derives the value of electricity year by year from the farm's hourly load profile under the 2026 netting and sales regime and calculates the break-even investment cost and the agricultural loss tolerance for two tax positions; and (iii) by reading land regulation together with the unlicensed generation regime, it proposes a standard framework that separates the public condition of agricultural protection from private economic feasibility.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK AND METHODS

2.1. Joint-production framework and performance indicators

An agrivoltaic system is a land-use system that deliberately co-designs crop production and PV electricity generation on the same parcel; panel height, row spacing, ground coverage ratio, drainage, and machinery corridors are set so as to secure the continuity of farming. The system has three linked outputs, namely agricultural output (Y), electricity (E), and water/ecosystem services (S), which draw on shared inputs such as land, capital, labor, water, radiation, and management know-how. Shading reduces the radiation reaching the crop but can raise the marginal product of water by lowering soil evaporation and the vapor pressure deficit (VPD); crop evapotranspiration, in turn, can make a small contribution to electrical efficiency by cooling the modules (Barron-Gafford et al., 2019). Agrivoltaic production is therefore a joint-production technology with cross-effects (Figure 1).

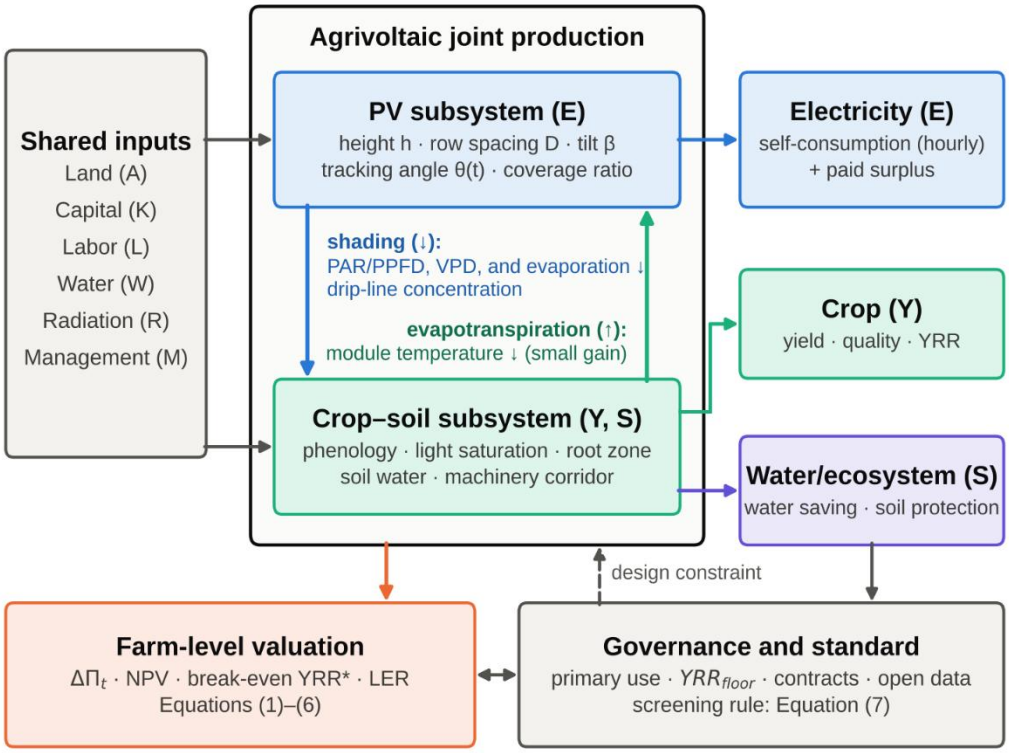


Figure 1. Joint-production framework of agrivoltaics: shared inputs, cross-effects between the PV and crop–soil subsystems, the three output groups, and their links to farm-level valuation and the governance layer. Source: Prepared by the author.

Land-use efficiency is summarized by the land equivalent ratio (LER), the sum of partial land equivalent ratios; its first term is the yield retention ratio (YRR), which shows the extent to which food production continues as the primary use (Dupraz et al., 2011):

$$LER = YRR + \frac{E_{AV}}{E_{PV,ref}}, \qquad YRR = \frac{Y_{AV}}{Y_{ref}} \tag{1}$$

Here Y_{AV} and Y_{ref} denote crop yield in the agrivoltaic area and in the open-field reference, and E_{AV} and $E_{PV,ref}$ the electricity output of the agrivoltaic system and of conventional PV on the same area. LER > 1 indicates land saving; however, because the same LER yields different net present values when crop prices, the way electricity is valued, and the cost of capital change, it does not guarantee economic efficiency (Trommsdorff et al., 2021). Consistent with DIN SPEC 91434, the denominator of YRR is defined over the total project area, including the installation footprint (DIN, 2021). Because the purchase price of sugar beet depends on polar sugar content, YRR must be monitored on a sugar-yield as well as a root-yield basis; an artificial-shade experiment showed that shade reduced root dry matter and sugar yield but affected extractability less (Artru et al., 2018).

2.2. Evidence-synthesis protocol

Source selection followed a structured narrative-synthesis protocol that falls outside the scope of a meta-analysis or a PRISMA-type systematic review. Priority was given to peer-reviewed studies indexed in Scopus and Web of Science, Turkish studies in DergiPark/TR Dizin,

institutional technical reports, and, for legislation and statistics, primary official documents; keyword clusters combined topic terms, crop names, and "Türkiye." Evidence was coded into four classes: **A**, peer-reviewed field experiment in Türkiye; **B**, peer-reviewed crop-specific modeling or economic analysis calibrated to Türkiye; **C**, international peer-reviewed field study or strong technical report; **D**, pilot and implementation knowledge. The other criteria were defined operationally: *agricultural importance*, the crop's weight in national planted area and crop production value; *water–energy intensity*, typical seasonal irrigation water (High: ≥ 500 mm and pumped pressurized irrigation; Medium: 200–500 mm; Low: < 200 mm or predominantly rain-fed production); *equipment compatibility*, the feasibility of carrying out planting, maintenance, and harvesting operations between panel rows (High: by hand or with small equipment; Medium: with row machinery of up to 3 m working width; Low: with wide-header combine harvesters). Groups were assigned by the following rule: crops with class A evidence to field validation; crops without A evidence but with class B crop-specific design and economic data and with high water–energy intensity to analytical priority; crops of high agricultural importance but low water–energy intensity and equipment compatibility to benchmark; perennial crops with only infrastructure-level evidence to long-term research; and crops without Türkiye-specific evidence, according to their shade tolerance, to the monitoring or the "scaling not recommended" group. The classification is a qualitative screening tool; the economic results in Section 3.2 do not depend on it.

2.3. Konya case study: data, economic model, and scenarios

The applied analysis couples a 1 ha reference sugar-beet parcel in Konya with the 66 kWp agrivoltaic unit designed for sugar beet by Kayabaşı (2026). For a system of 120 modules of 550 W, the study reports savings of USD 8,111/year in Konya at a commercial tariff of TRY 3.24/kWh and an exchange rate of TRY 47/USD, and an investment of USD 38,070. In this study, generation was recalculated with the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) 5.3 (SARAH3, 2005–2023) at Kayabaşı's location and tilt (37.874° N, 32.493° E; 32°) for free-standing, south-facing (azimuth 0°) crystalline-silicon modules. The baseline rests on the 14% system loss recommended by PVGIS (1,577 kWh/kWp). The Joint Research Centre (JRC) justifies the 14% by system losses and aging (about 0.5%/year) and states that dust and soiling are not modeled in PVGIS calculations (JRC, 2026). In this study, the 14% is interpreted as the average loss over the 25-year model horizon; to avoid counting aging twice, first-year generation is set at 1,674 kWh/kWp so that, with 0.5% degradation, the 25-year average is 1,577 (calibration assumption; Table 1). The sensitivity cases are the conservative case, in which the 14% is counted as a first-year loss; 1,608 kWh/kWp derived from node data of Energy Exchange Istanbul (EPİAŞ) (Ozcanli & Dogan, 2026); and Kayabaşı's optimistic value of 1,783 kWh/kWp, for which, as the source does not report a loss rate, the equivalent back-calculated from PVGIS for the same location is a system loss of about 3%. Because the EPİAŞ value was derived by dividing the 2025 generation of the Alibey node by an assumed effective capacity of 7,600 kWp and reflects a mixed fleet, it is used as an empirical check; treating it as a 25-year average is a scenario assumption, and the first-year-generation case is also reported (Section 3.2.3). The system is described as a galvanized steel structure, characterized as elevated, carrying modules tilted at 32° (USD 9,787, ≈USD 148/kWp); structure height, row layout, and machinery clearance are not reported. The module area (≈310 m²) is about 3% of the parcel; at this cover the shade-induced loss expected for root crops is less than proportional (Laub et al., 2022). The unit is treated as a design-independent energy module; geometry-dependent cost differences are represented by the investment-cost scenarios and the unknown crop response by its economic threshold value. The analysis assumes that a category permitting agrivoltaic

installations on irrigated and absolute agricultural land has been defined; no such category exists in the 2026 legislation (Section 4.1).

The agricultural reference uses Konya's average sugar-beet yield in 2024 (81.96 t/ha) and the purchase price of TRY 3,720/t, including the quota-completion premium, announced by the state-owned Türkiye Sugar Factories Corporation (TÜRKŞEKER) for the 2026/27 production year (Konya Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, 2025; Ministry of Agriculture and Forestry, 2026b). Because part of the beet in the province is purchased by factories other than TÜRKŞEKER, the realized price may deviate from this national reference; the price only scales the loss basis and does not affect the break-even investment cost. The reference gross production value (GPV) is TRY 304,891/ha-year, or USD 6,125/ha-year at the central-bank buying rate of October 30, 2026 (TRY 49.7747/USD; Central Bank of the Republic of Türkiye [CBRT], 2026). A cost study based on 100 farms in Kırşehir found a ratio of gross margin (reported as gross profit) to GPV of 38.49% (Karakaya et al., 2026); applying this ratio to the Konya GPV gives a normalized gross margin of USD 2,358/ha-year.

The net present value of the agrivoltaic investment and the annual change in net value relative to the reference farm are defined by Eqs. (2) and (3):

$$NPV_{AV} = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{\Delta\Pi_t}{(1+r)^t} \tag{2}$$

$$\Delta\Pi_t = P_y\left(Y_{AV} - Y_{ref}\right) + V_{e,t} + V_w + V_r - \Delta OPEX_t - C_{fin} - C_{land} \tag{3}$$

Here I_0 is the initial investment, r the real discount rate, T the economic lifetime, P_y the crop price, $V_{e,t}$ the value of electricity, V_w water and pumping savings, V_r the expected value of risk reduction, $\Delta OPEX_t$ the additional operation–maintenance and inverter-replacement cost, and C_{fin} and C_{land} the costs of financing and of land-use constraints. In the baseline scenario V_w and V_r are set to zero, financing costs are captured by the discount rate, and the land footprint is internalized by defining YRR over the total project area; additional costs that may arise from farming operations under the panels are examined as a sensitivity. When the proportional crop loss is held constant over the years, the break-even yield retention ratio that sets NPV to zero has a closed-form solution:

$$YRR^* = 1 - \frac{NPV_E}{L \cdot AF}, \qquad AF = \sum_{t=1}^{T} (1+r)^{-t} \tag{4}$$

Here NPV_E is the net present value of the energy component (investment, operation–maintenance, inverter replacement, and electricity value), and L is the annual monetary equivalent of a unit yield loss. In the economic analysis YRR is the revenue-equivalent yield ratio, which for beet also captures polar sugar content (sugar-yield basis); if shade also lowers sugar content, the required retention ratio in terms of root yield is higher. YRR < 100% is equivalent to $NPV_E > 0$. The results are reported with two indicators: the break-even investment cost, which sets NPV_E to zero, and the loss tolerance (1 − YRR*), which shows the upper bound that the realized yield loss can reach without reducing farm value. The loss basis*

is tied to the loss mechanism. For shade-induced losses, inputs continue to be applied on an area basis, so the appropriate measure is the revenue basis ($L = P_y Y_{ref}$ = USD 6,125/ha); because yield-proportional costs such as harvesting and transport are not deducted, this basis slightly overestimates the loss. The gross-margin basis (USD 2,358/ha) corresponds to the loss on the footprint area, where no inputs are applied at all. Both bases assume that beet is grown on the same hectare every year and therefore give an annualized threshold, whereas beet is grown once every four years for reasons of contract farming and soil health (TÜRKŞEKER, 2022). The rotation basis is therefore defined for a beet–wheat–wheat–barley rotation, taking the order of crops and discounting into account:

$$YRR^{*}_{seq} = 1 - \frac{NPV_E}{\sum_{t=1}^{T} L_t\,(1+r)^{-t}}, \qquad L_t \in \{L_{beet},\, GPV_{wheat},\, GPV_{barley}\} \tag{5}$$

Representative irrigated yields for wheat and barley (5.0 and 4.5 t/ha) and the 2026 purchase prices of the Turkish Grain Board (TMO) (TRY 16,500 and 12,750/t; Ministry of Agriculture and Forestry, 2026a) were used, giving GPV_{wheat} = USD 1,657/ha and GPV_{barley} = USD 1,153/ha. Table 4 reports YRR on the annual average basis weighted by rotation shares (USD 2,648/ha), and Section 3.2.1 gives the range of Eq. (5) by starting year of the rotation. The rotation bases assume that the same proportional loss applies to all crops in the rotation.*

Four investment-cost scenarios were defined: K1, Kayabaşı's (2026) cost of USD 577/kWp; K2, the 2024 global weighted-average cost of ground-mounted PV reported by IRENA (2025) (USD 691/kWp); K3 (baseline), USD 879/kWp, obtained by applying the investment premium of at least 20% indicated for agrivoltaic systems by the European Commission's JRC (Chatzipanagi et al., 2023) to the published installation cost of USD 732.6/kWp net of VAT for a 1 MW solar plant in Konya (USD 864.5/kWp including 18% VAT; Erdem, 2025); and K4, USD 1,268/kWp, obtained by applying to the same cost the premium of 73.1% calculated from Heggelbach data (Schindele et al., 2020). These premiums derive from systems much denser than 66 kWp/ha (≈520 kWp/ha and 5 m clearance at Heggelbach), whereas Kayabaşı's structure cost is closer to the substructure cost of ground-mounted systems (EUR 76/kWp) than to that of elevated structures for arable crops (EUR 372/kWp) (Fraunhofer ISE, 2024). That K1 lies below the ground-mounted cost may stem from the different periods (2026 and 2023) and scopes of the two sources, or from the capacity definition: because Erdem (2025) defines the plant by the nominal power of its 550 Wp modules, 1 MW is treated here as 1 MWp; if the figure referred to inverter (AC) capacity, a DC/AC ratio of 1.2 would give a ground-mounted cost of USD 611, K3 of 733, and K4 of 1,057/kWp, the premium would be covered above about 32 ha, and K4 would still lie above the ceiling. Erdem's (2025) figure is a 2023-based installation cost at 1 MW scale, before support, and has not been brought to 2026 price levels; the JRC's 20% is an unsourced footnote estimate. The main indicator is therefore the break-even investment cost, which can be interpreted independently of the cost assumption.

The tax position is represented by two regimes. In the recoverable-VAT regime, all amounts are net of VAT; this corresponds to the assumption that VAT on the investment does not become a permanent cost to the farm. In the non-recoverable-VAT regime, investment, operation–maintenance, and inverter replacement are taken inclusive of VAT at the general rate (20%), and the avoided electricity charge at the reduced rate applied to the agricultural-irrigation subscriber group (10%) (Presidential Decision, 2022, 2023); VAT on the injection fee is also counted as a cost, and the surplus sale price is kept net of VAT in both regimes.

The value of electricity was derived year by year from the rules in force on October 30, 2026,

assuming that the unit is associated with the farm's pumping facilities under Article 26 of the Regulation on Unlicensed Electricity Generation (Official Gazette, 2019). Under Article 26 as revised by the amendment of April 2, 2026, netting is hourly, the energy that may be generated in a calendar year is limited to twice the associated facilities' pre-netting consumption in the previous year (2C), and surplus electricity is purchased for ten years (Official Gazette, 2026a, Art. 26/1, 26/4, 26/17); the amendment of October 19, 2026, did not change these paragraphs and made only a cross-reference correction in Article 26; the re-enacted Article 28(4) (the internal consumption of a generation facility at a different metering point is added to the associated consumption) and its provisions on emergency instructions do not affect the results under the same-metering-point assumption of this analysis (Official Gazette, 2026d). The Procedures and Principles put into force by Board Decision No. 14531 deduct both netted quantities and surplus from the limit (Art. 7/3), classify surplus above the limit as "generation subject to system-usage charges" (Art. 4/1-k), and link the price of surplus electricity to the lowest relevant tariff price in the relevant consumer group (for the agricultural-activities group, the single-rate active-energy charge at low voltage, LV) (Art. 11/3) (EPDK, 2026b). Energy above the limit counts as a free contribution to YEKDEM, the renewable energy support mechanism; its system-usage charge is paid through the incumbent supply company and is not invoiced to the producer (Official Gazette, 2026a, Art. 26/17). For facilities that have completed the ten-year period, Decision No. 11415 provides for energy fed into the grid after hourly netting to be purchased at 90% of the current YEKDEM price applied to licensed facilities, capped at the hourly market clearing price (PTF); it does not limit the saleable quantity for facilities at the same metering point and leaves it to EPDK for those at a different metering point, and EPDK set this quantity for 2026 at the entire surplus (Presidential Decision, 2026; EPDK, 2026c). Energy injected into the grid by new solar-based unlicensed facilities is subject to the injection-side "Unlicensed Producer-2" distribution fee (65.60 kuruş/kWh, i.e., TRY 0.656/kWh), and EPDK has applied the same tariff to the injection fee of facilities whose ten-year period has expired (EPDK, 2026a, 2026d). The fee is therefore deducted from the surplus sold in both periods in the baseline, and the gross-sale case without this deduction in the first ten years is computed as a sensitivity.

Under these rules, the effective value in year t was calculated by matching hourly generation $G_{h,t}$ with the farm's hourly load L_h:

$$p_{eff,t} = \frac{p_r \sum_h \min\left(G_{h,t}, L_h\right) + p_{s,t}\, S_t^B - c_{ex}(S_t - S_t^B)}{\sum_h G_{h,t}}, \qquad G_{h,t} = G_{h,1}(1-\delta)^{t-1} \tag{6}$$

Here S_t denotes annual surplus, S_t^B its paid portion, c_{ex} the unit cost of above-limit generation, and δ annual degradation. In the first ten years S_t^B is the surplus generated before the 2C limit is exhausted chronologically (because netting is hourly, the limit is used up hour by hour within the year; EPDK, 2026b, Art. 9/2); no limit is applied in years 11–25. Because Art. 26/17 defines pre-netting consumption at the same metering point as the sum of energy drawn from the grid and energy delivered from the generation meter to consumption, C is the total pumping load; as the load is constant from year to year, $C_{t-1} = C$. The alternative reading in Table 6 bases the limit instead on grid withdrawals after self-consumption. Self-consumed energy was valued at the sum of the single-rate active-energy and distribution charges of the agricultural-activities subscriber group at LV in the tariff table of April 4, 2026 (p_r = USD 0.088/kWh, excluding

taxes and levies); this corresponds to assuming that, for the purposes of the distribution charge, the entire associated pumping load is aggregated at the unit's metering point (the case in which only the active-energy charge is avoided is reported in Table 6). This is the latest tariff table in force as of October 30, 2026; the analysis assumes that tariffs remain constant in real terms over 25 years. Paid surplus was valued in the first ten years at the active-energy charge (USD 0.047/kWh) minus the injection fee (USD 0.013/kWh) ($p_{s,1}$ = USD 0.034/kWh), and thereafter at 90% of the solar YEKDEM price (270.79 kuruş/kWh on June 1, 2026; GENSED, 2026), capped by an assumed solar-hour PTF of TRY 2.20/kWh, minus the same fee ($p_{s,2}$ = USD 0.031/kWh). Above-limit generation creates neither revenue nor cost in the baseline (c_{ex} = 0); the case in which the fee is passed on to the producer (c_{ex} = 0.013) is computed as a sensitivity. For comparison, the equivalent flat value ($\bar{p}$), which gives the same NPV over 25 years, is also reported.

Generation was distributed over the hours using the monthly distribution given by PVGIS for the same location (Table 2) and a half-sine profile scaled to day length. The load profile assumes sugar beet on one quarter of the irrigated area (May–September; 3,400 kWh/ha-year) and cereals on three quarters (April–June; 1,100 kWh/ha-year), pumps operating between 06:00 and 20:00, and a continuous base load of 1 kW. Hours are solar time (solar noon in Konya ≈ 12:50 local time, UTC+3); if the pumps run 06:00–20:00 local time, the break-even investment cost rises by about USD 5/kWp and the break-even irrigated area falls from about 80 ha to about 74 ha (Section 3.2.1), so this convention biases the results in the conservative direction. In the Konya Plain, irrigation is the dominant electrical load, accounting for about 60% of the total energy input of sugar-beet production (Topak et al., 2009, 2010). The beet value corresponds to 7,000–8,000 m³/ha of irrigation water and a specific pumping energy of 0.4–0.5 kWh/m³ (≈100–130 m of pumping head at 70% efficiency). The per-hectare loads projected by Ozcanli and Dogan (2026) for pumping heads of 45 and 80 m (about 1,800 and 3,100 kWh/ha) are also examined as sensitivities. Daytime pumping is a condition of the analysis, not a measured farm behavior; because evening and night-time irrigation is also practiced with sprinkler irrigation to reduce wind losses, 24-hour and night-time pumping scenarios are computed separately. The flat block, in which the daily irrigation energy is spread evenly over the pumping hours, represents the aggregated load of farms where several pump sets at the same metering point run on staggered days or where center-pivot and drip systems run every day in the peak months; the case of a single set running intermittently at the irrigation interval (every other day, at twice the power on that day) is added as a separate scenario. The 1 kW base load represents continuous non-pumping use (storage, controls, lighting) and corresponds to 9.5% of annual consumption on a 50 ha farm; with 0 and 2 kW, the break-even investment cost at 50 ha is USD 783 and 836/kWp. The 8% real discount rate lies within the 3.8–12% range of the real cost of capital reported for renewable energy projects by IRENA (2025); at 6% and 10%, the break-even investment cost at 50 ha is USD 963 and 694/kWp.

The combined effect of parameter uncertainty was assessed with a Monte Carlo simulation of 20,000 draws on the hourly model. The eight inputs whose distributions are given in Table 1 were drawn independently, and the same draws were used for farms of 25, 50, and 100 ha, so that differences across farm sizes arise solely from the consumption profile. Because investment cost and tariff level may be correlated through the real exchange rate, a dependence of ρ = 0.5 between the two inputs (Gaussian copula) was examined as a sensitivity. Because the values of

each draw are held constant over 25 years, the simulation represents long-term parameter uncertainty rather than annual weather and price volatility. Output variance was decomposed across inputs using squared standardized regression coefficients (SRC²).

Table 1. Parameters and Monte Carlo distributions of the Konya sugar beet–agrivoltaic case study (exchange rate: TRY 49.7747/USD).

Parameter	Value	Monte Carlo distribution	Source / note
System size; year-1 generation	66 kWp; 110,484 kWh (1,674 kWh/kWp; 25-year average 1,577)	Specific yield, year 1: Triangular (1,577; 1,674; 1,783) × Normal (1; CV 4%)[a]	PVGIS 5.3, 14% loss (JRC, 2026); conservative 1,577; EPİAŞ 1,608, 25-year average assumption (Ozcanli & Dogan, 2026); optimistic 1,783 kWh/kWp (Kayabaşı, 2026)
Degradation; operation–maintenance; inverter replacement	0.5%/year; 18 USD/kWp-year; 70 USD/kWp (year 13)	Uniform (0.4%; 0.7%); Uniform (14; 22); —	Jordan & Kurtz (2013); IRENA (2025); Schindele et al. (2020)
Economic lifetime; real discount rate	25 years; 8%	—; Uniform (6%; 10%)	Assumption; IRENA (2025)
Investment cost, K1–K4	577; 691; 879; 1,268 USD/kWp	Triangular (577; 879; 1,268)	Kayabaşı (2026); IRENA (2025); Erdem (2025; net of VAT) × premiums of Chatzipanagi et al. (2023) and Schindele et al. (2020)
VAT (non-recoverable regime)	Investment, operation–maintenance, inverter, and injection fee 20%; avoided electricity charge 10%	—	Presidential Decision (2022, 2023)
Avoided charge (p_r)	0.088 (LV); 0.083 (medium voltage, MV) USD/kWh	Tariff multiplier: Triangular (0.80; 1.00; 1.20)[b]	Active energy 233.38 + distribution 203.72 kuruş/kWh (LV) (EPDK, 2026a)
Net surplus price ($p_{s,1}$; $p_{s,2}$)	0.034 (gross 0.047); 0.031 (0.015–0.036) USD/kWh	$p_{s,1}$: tariff multiplier[b]; $p_{s,2}$: Uniform (0.015; 0.036)[c]	EPDK (2026a, 2026b); GENSED (2026); Presidential Decision (2026)
Injection fee	65.60 kuruş/kWh = 0.013 USD/kWh	Tariff multiplier[b]	Unlicensed Producer-2 (EPDK, 2026a, 2026d)
Netting and sales regime	Hourly; years 1–10 limit 2C, above-limit generation a free contribution to YEKDEM (c_{ex} = 0; sensitivity 0.013); years 11–25 no limit	—[d]	Official Gazette (2026a, Art. 26/17); EPDK (2026b, 2026c)
Farm load	Beet 3,400 (sensitivity 1,800–3,100), cereals 1,100 kWh/ha-year; pumps 06–20; 1 kW base load	—[d]	Representative, based on Topak et al. (2009, 2010); Ozcanli & Dogan (2026); monthly distribution in Table 2
Beet yield; price; GPV	81.96 t/ha; 3,720 TRY/t; 6,125 USD/ha	GPV: Normal (6,125; CV 12%)[e]	Konya Provincial Directorate of Agriculture and Forestry (2025); Ministry of Agriculture and Forestry (2026b); CBRT (2026)
Gross-margin ratio; gross margin	38.49%; 2,358 USD/ha	—	Karakaya et al. (2026)
Rotation	Beet–wheat–wheat–barley	—	TÜRKŞEKER (2022); Ministry of Agriculture and Forestry (2026a)

CV: coefficient of variation; —: held constant or not used in the Monte Carlo simulation. [a] Uncertainty in the system-loss assumption (conservative, baseline, and optimistic values) and

in the long-term level of the satellite irradiance data (judgmental). [b] Real tariff multiplier applied jointly to the active-energy, distribution, and injection charges. [c] Extreme cases in which the PTF cap is and is not binding. [d] Regulatory interpretation, hydraulic assumptions, and pumping schedule are examined deterministically in Table 6. [e] Uncertainty in long-term yield and price levels.

Table 2. Monthly inputs of the generation and consumption profiles (PV shares from the PVGIS 5.3 monthly output for the same location and tilt; irrigation shares representative for Konya; day length at 38° N; owing to rounding, PV shares sum to 99.9% and are normalized to 100% in the model; monthly values are expanded into an 8,760-hour chronological series through typical-day profiles).

Month	Share of PV generation (%)	Day length (h)	Share of beet irrigation energy (%)	Share of cereal irrigation energy (%)
January	5.4	9.6	0	0
February	6.4	10.6	0	0
March	8.4	11.9	0	0
April	8.8	13.3	0	25
May	9.3	14.4	12	45
June	9.5	15.0	22	30
July	10.9	14.7	28	0
August	10.8	13.7	26	0
September	9.7	12.4	12	0
October	8.4	11.0	0	0
November	6.9	9.9	0	0
December	5.4	9.3	0	0

3. RESEARCH AND FINDINGS

3.1. Agrivoltaic crop suitability and design constraints for Türkiye

3.1.1. Biophysical mechanisms and soil–water interactions

From the crop's perspective, a PV module is first of all a light filter: PPFD is reduced and becomes spatially heterogeneous. The effect is non-linear; a meta-analysis showed that forage crops, leafy vegetables, tuber and root crops, and C3 cereals suffer less-than-proportional yield losses at low shade levels, whereas maize and grain legumes suffer strong losses even under low shade (Laub et al., 2022). In Ayaş, under a single-axis tracking layout with a 35% ground coverage ratio, photosynthetically active radiation (PAR) beneath the panels fell by 38.55% while soil moisture at 20 cm depth remained above the reference throughout the growing season (Şentürk et al., 2025). The water-saving narrative is incomplete if the redistribution of rainfall by panel surfaces is ignored: rainfall concentrates along the drip line at the module edge, construction traffic compacts the soil, and for a solar plant on sloping land surface runoff was estimated to increase by 99–154% and erosion by 25–76% (Liu et al., 2023).

3.1.2. Crop responses and suitability classification

When the criteria in Section 2.2 are applied, sugar beet falls into the analytical-priority group, lettuce and tomato–pepper into the field-validation group, wheat–barley into the benchmark group, and apricot into the long-term research group (Table 3). The choice of the Konya case, by contrast, rests on three observations independent of this classification: in 2024 the province produced 6.97 million t of beet on 850,642 decares (da), accounting for 30.31% of Türkiye's production (Konya Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, 2025); the high

irrigation demand of beet determines the farm's electrical load; and domestic crop-specific design and energy–economic data are available (Yalçın et al., 2025a; Kayabaşı, 2026). Because root and sugar yields under panels have not been measured in Türkiye, beet suits a "design first, then validate with field data" approach guided by international evidence (Artru et al., 2018; Laub et al., 2022); Section 3.2 shows at what loss level such validation becomes decisive.

Analytical priority does not mean that beet is the crop that should be scaled up through agrivoltaics. In the Konya Closed Basin, where subsidence and sinkholes have been linked to groundwater abstraction for irrigation (Orhan et al., 2024), solar pumping can increase water abstraction by lowering the marginal cost of pumping (Kafle et al., 2024), so this priority should be read together with volumetric water allocation and metered monitoring.

Leafy vegetables form the group that can benefit from controlled partial shade; in Bursa, lettuce quality and PV output were monitored together under four irrigation levels, and the agrivoltaic setup showed a 2.92% loss in electricity generation relative to conventional PV (Günhan & Taşkın, 2025). For tomato and pepper, yield losses in the Ayaş IoT pilot were 1.3% for kapia pepper, 15.6% for bell pepper, 23.5% for fresh-market tomato, and 34.7% for processing tomato (Gümüş et al., 2026); this spread shows that scaling decisions must be made at the cultivar level. Wheat and barley are indispensable benchmark crops because of their prevalence; however, light requirements during grain filling, combine-harvester corridors, and low margins tighten the threshold. For apricot, a research platform (Erciyes AgriPV) with sparse-cell panels and single-axis tracking has been installed, with two years of monitoring planned against a control plot (Yalçın et al., 2025b). The platform is long-term infrastructure for testing frost/hail risk, phenology, and fruit quality.

Table 3. Agrivoltaic crop suitability for Türkiye: qualitative ratings of the criteria, shade tolerance, and priority group (evidence classes, functional definitions, and assignment rule: Section 2.2; ratings assigned by the author).

Crop / group	Türkiye-specific evidence	Agricultural importance	Water–energy intensity	Equipment compatibility	Shade tolerance; recommended architecture	Priority group
Sugar beet	B: PPFD design (2025), energy–economic assessment (2026); no under-panel yield measurement	High	High	Medium	Uncertain; sparse A/V bifacial or wide rows	Analytical priority
Lettuce / leafy vegetables	A: Bursa field experiment (2025)	Medium	Medium	High	High; distributed partial shade	Field validation
Tomato–pepper	A: Ayaş IoT pilot (2026); losses of 1.3–34.7% by cultivar	High	High	Medium	Medium, cultivar-specific; tracking or low coverage	Field validation
Wheat–barley	B/C: PPFD design; international field evidence	High	Low	Low	Medium–low; wide rows or vertical bifacial	Benchmark
Apricot	D→A: Kayseri platform (2025); 3–5 years of validation required	High	Medium	Medium	Uncertain; high-clearance sparse or semi-transparent panels	Long-term research
Root vegetables / potato	C: international field evidence	Medium	High	Medium	Medium; sparse shade	Monitoring
Maize / sunflower	C: no crop-specific experiment	High	High (irrigated maize); Low (sunflower)	Low	Low; vertical rows or very low coverage	Scaling not recommended

3.1.3. Engineering design and the national evidence base

DIN SPEC 91434 and the Fraunhofer guideline distinguish high-clearance systems with farming beneath the panels (Category I) from systems with farming between panel rows (Category II) (DIN, 2021; Fraunhofer ISE, 2024). High clearance eases the passage of machinery but raises investment because of columns, foundations, and wind loads (Schindele et al., 2020). Vertical bifacial and tracking layouts manage footprint and shade distribution differently (Trommsdorff et al., 2025). The Turkish modeling line (Coşgun et al., 2024; Kırbaş, 2025; Yalçın et al., 2025a; Kuzyaka et al., 2026; Güven & Kayalica, 2026) shows that there is no fixed “ideal” geometry and that installation should start from the crop’s light budget.

3.2. Economic threshold analysis for Konya sugar beet–agrivoltaics

3.2.1. The effective value of electricity and farm scale

Under hourly netting, the value of electricity depends on the hour-by-hour match between generation and consumption, the paid-generation limit, the injection fee, and the sales period (Figure 2; Table 4). On a typical July day, midday generation is about 41 kWh per hour while

the load of a 25 ha farm (pumping and base load) stays at 14.7 kWh; in the first year 35% of output is self-consumed, 88% of the surplus is paid because it arises before the limit is exhausted, and the remainder is a free contribution to YEKDEM. The 25-year equivalent flat value is USD 0.051/kWh and the energy NPV −USD 14,646; on this farm the unit does not pay for itself from electricity revenue alone, even with full yield retention (YRR* 122.4%).

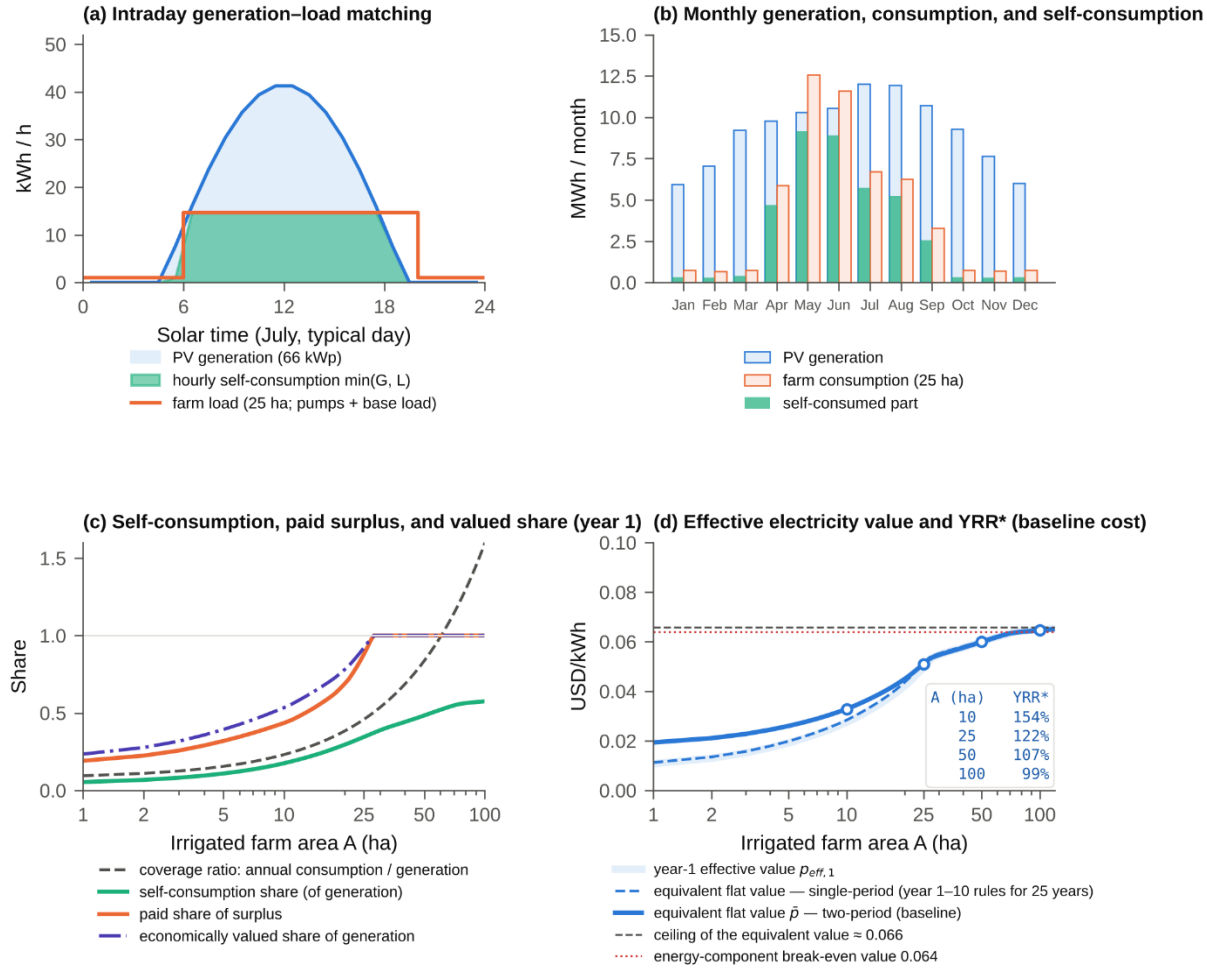


Figure 2. Effective value of electricity under hourly netting: (a) generation of the 66 kWp unit and load of a 25 ha farm on a typical July day; (b) monthly generation, consumption, and self-consumption; (c) shares of self-consumption, paid surplus, and valued generation by farm size (year 1); (d) effective and equivalent flat values, the ceiling of the equivalent value, and YRR*. Source: Author's calculations.

Once the irrigated area exceeds about 28 ha, the entire surplus becomes paid; at 50 ha the self-consumption share is 48% and the equivalent value USD 0.060/kWh, and at 100 ha the equivalent value rises to USD 0.065/kWh. The self-consumption share saturates at about 60% and the equivalent value at USD 0.066/kWh; this ceiling corresponds to the April–September share of PV generation (59%; Table 2), that is, it is set by the irrigation calendar rather than by farm size. It is this mechanism that is transferable; the numerical ceiling depends on the monthly distribution of generation, tariffs (±20%: USD 1,125–703/kWp), the discount rate (6–10%: 1,086–783), and connection conditions. The investment cost that electricity revenue can cover is therefore USD 657/kWp at 25 ha, 810 at 50 ha, and 890 at 100 ha, and it cannot exceed about USD 914/kWp regardless of farm scale (Table 4; Figure 3a); depending on the specific-

yield assumption, this ceiling lies in the range of USD 849–986/kWp (Section 3.2.3). The results assume that the entire associated pumping load is aggregated at the unit's metering point; this assumption is most strained on the large farms where the favorable results arise, and if it does not hold, the break-even investment at 50 ha falls to USD 464/kWp (Table 6).
At the baseline cost (USD 879/kWp), the energy component is loss-making at 50 ha (YRR 107.0%), and at 100 ha the loss tolerance is only 1.1%. Depending on the starting year of the rotation, Eq. (5) gives YRR* of 148.3–154.5% at 25 ha, 115.1–117.0% at 50 ha, and 97.3–97.6% at 100 ha; on the gross-margin basis, YRR* is 158.2%, 118.1%, and 97.1%, respectively. Under the baseline assumptions, the irrigated area at which NPV_E reaches zero is about 80 ha;*

at this point the associated annual load is about 143 MWh (Figure 3a, top axis), and installed capacity corresponds to about 0.46 kWp per MWh of this load. Because the ceiling of the equivalent value lies only about 3% above the break-even value (USD 0.064/kWh), this threshold is highly sensitive to the parameters (K3 ±5%: 57 ha, or none up to 1,000 ha) and should not be interpreted as a single number (Section 3.2.3).

Table 4. Hourly netting results by irrigated area of the farm to which the 66 kWp unit is connected (baseline yield; representative consumption profile; daytime pumping; LV tariff; energy NPV and YRR* at USD 879/kWp; non-recoverable-VAT column as a VAT-exclusive equivalent; upper bound for 1,000 ha).

Irrigated area (ha)	Annual consumption (MWh)	Self-consumption share, year 1	Equivalent flat value (USD/kWh)	NPV_E (USD)	YRR*: revenue	YRR*: rotation average	Break-even investment: recoverable VAT (USD/kWp)	Break-even investment: non-recoverable VAT (USD/kWp)
10	25.5	17.5%	0.033	−35,224	153.9%	224.6%	345	255
25	50.6	34.5%	0.051	−14,646	122.4%	151.8%	657	533
50	92.5	48.4%	0.060	−4,563	107.0%	116.1%	810	682
100	176.3	57.5%	0.065	+718	98.9%	97.5%	890	762
Upper bound	—	60.2%	0.066	—	—	—	914	786

3.2.2. Investment cost and tax position

The result diverges by structure type (Table 5; Figure 3a–b). At Kayabaşı's cost (USD 577/kWp), the energy component is positive even at 25 ha (loss tolerance of 8.1%, 23.5%, and 31.6% at 25, 50, and 100 ha); at the IRENA global average (USD 691/kWp), it is loss-making at 25 ha and positive at 50 ha. Because the Heggelbach-type elevated structure with a 73% premium (USD 1,268/kWp) lies well above the ceiling, it cannot be covered by electricity revenue at any farm scale or in any scenario examined under the 2026 rules. The baseline cost carrying the 20% agrivoltaic premium (USD 879/kWp), by contrast, lies only 4% below the ceiling: it is covered above about 80 ha with baseline yield and at no scale with conservative yield; the threshold is about 67 ha when the EPİAŞ-derived yield is treated as the 25-year average and 54 ha with optimistic yield.
On a farm that cannot recover VAT, the break-even investment cost, expressed as a VAT-exclusive equivalent, falls to USD 533, 682, and 762/kWp at 25, 50, and 100 ha, and the ceiling to USD 786/kWp; YRR is 141.9%, 123.9%, and 114.2%, respectively. Even with optimistic yield, the ceiling (USD 850/kWp) lies below the baseline cost.*

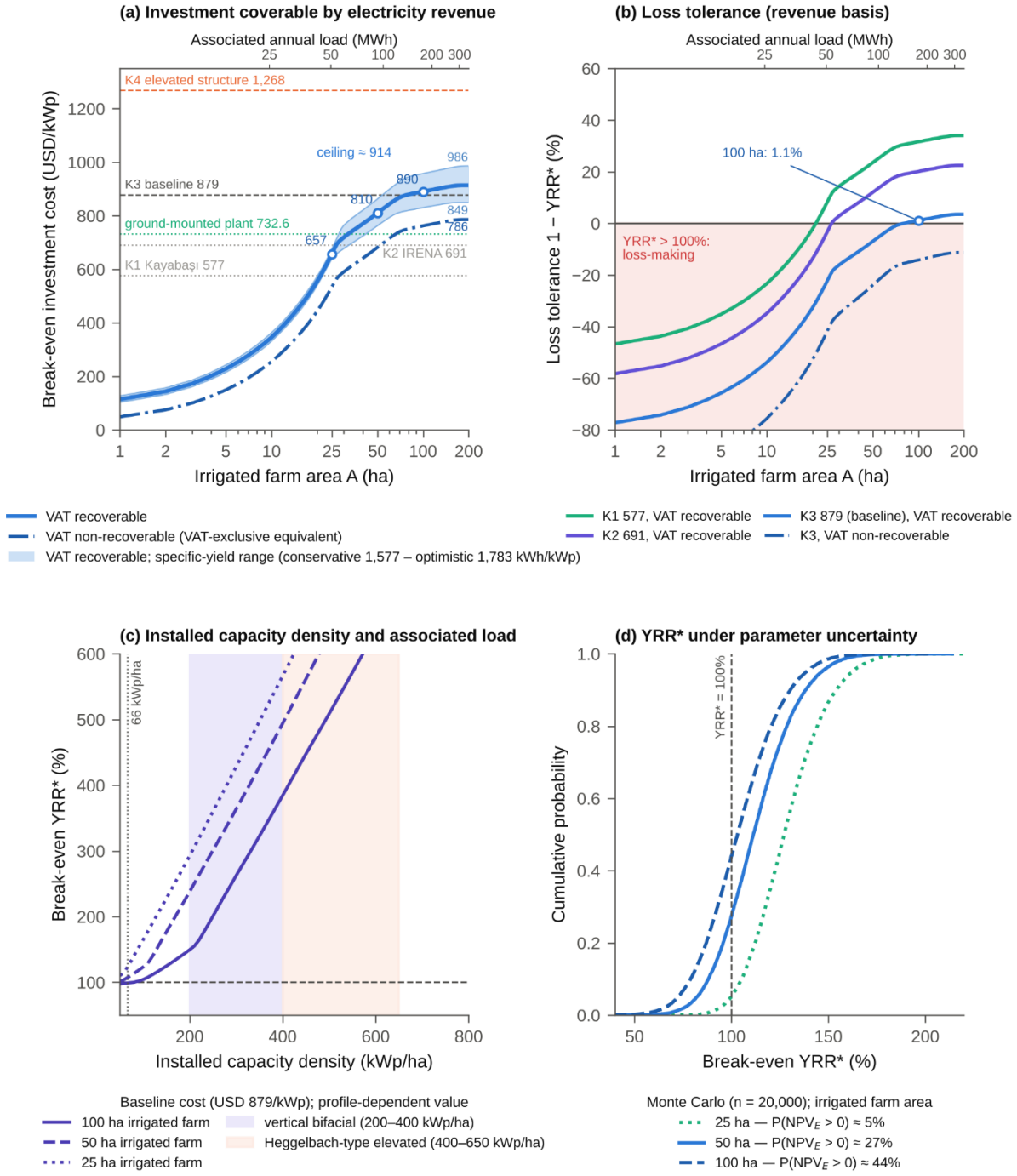


Figure 3. Economic threshold: (a) investment cost that electricity revenue can cover by the farm's irrigated area (top axis: associated annual load), specific-yield range (conservative–optimistic), and investment-cost scenarios; (b) loss tolerance (1 − YRR*) by investment cost and VAT position; (c) installed capacity density and YRR* with consumption-profile-based value (unit investment cost held constant at USD 879/kWp at all densities); (d) cumulative distribution of YRR* in the Monte Carlo simulation (n = 20,000). Daytime pumping; revenue basis; water, risk, and quality benefits set to zero. Source: Author's calculations.

Table 5. Break-even YRR* under the investment-cost scenarios (revenue basis; 66 kWp/ha; YRR* > 100%: energy component loss-making).

Investment-cost scenario	USD/kWp	YRR*: 25 ha	YRR*: 50 ha	YRR*: 100 ha	YRR*: 50 ha, non-recoverable VAT
K1 Kayabaşı (2026)	577	91.9%	76.5%	68.4%	87.3%
K2 IRENA (2025) global average	691	103.4%	88.0%	79.9%	101.1%
K3 Konya solar plant × 1.20 (agrivoltaic premium; baseline)	879	122.4%	107.0%	98.9%	123.9%
K4 Konya solar plant × 1.73 (Heggelbach-type elevated structure)	1,268	161.7%	146.2%	138.2%	171.1%

3.2.3. Sensitivity scenarios and installed capacity density

Table 6 and Figure 4 summarize the sensitivity results. At 50 ha, the break-even investment cost remains between USD 735 and 884/kWp across the injection-fee, PTF, limit-reference, and voltage-level scenarios. Four regulatory interpretations not shown in the table (single-period sales, a non-binding PTF cap, the limit applied to surplus only, and the above-limit fee passed on to the producer) leave this value within USD 810–825/kWp. The specific-yield assumption directly determines the ceiling: with the conservative loss, the ceiling falls to USD 849/kWp and stays below the baseline cost, whereas Kayabaşı's value (1,783 kWh/kWp) raises it to USD 986/kWp; a soiling loss of 3% of baseline yield in every year, which PVGIS does not model, lowers the ceiling to USD 880/kWp and moves the break-even area to 159 ha. With the EPİAŞ-derived value, the ceiling is USD 935/kWp when it is treated as the 25-year average and 870 when it is treated as first-year generation. The monthly distribution is also decisive: a hypothetical distribution with an April–September share of 63% would raise the ceiling by about USD 35–40/kWp. Pumping energy per hectare shifts the break-even value into the range of USD 686–793/kWp but does not change the ceiling. Running the pumps over 24 hours lowers the break-even cost to USD 719/kWp; with the intermittent load of a single pump set running every other day, the equivalent value saturates near USD 0.051/kWh, so the break-even cost falls to USD 638/kWp and the ceiling to USD 650/kWp. The strongest effects, however, come from night-time pumping (USD 437/kWp) and from being able to avoid only the active-energy charge on self-consumption (USD 464/kWp). In these three cases (intermittent load, night-time pumping, active-energy-only avoidance) the energy component is loss-making regardless of farm scale; the flat-block results therefore hold for farms whose load is smoothed within the day. Because the ceiling is very close to the baseline cost, the break-even irrigated area ranges from 48 to 159 ha across scenarios and, in eight scenarios, does not arise at all up to 1,000 ha.

Table 6. Sensitivity scenarios (66 kWp; USD 879/kWp; revenue basis; YRR* > 100%: energy component loss-making; —: no break-even up to 1,000 ha, or not applicable; in the non-recoverable-VAT row, investment as a VAT-exclusive equivalent; in the additional-farming-cost row, the equivalent value is derived from the energy cash flow only and the break-even investment cost refers to the total project including that cost [energy component 810]).

Scenario (only the stated assumption changes)	$\bar{p}$, 50 ha (USD/kWh)	YRR*: 25 ha	YRR*: 50 ha	YRR*: 100 ha	Break-even area (ha)	Break-even cost, 50 ha (USD/kWp)
Baseline	0.060	122.4%	107.0%	98.9%	80	810
Non-recoverable VAT (investment and costs 20%, electricity 10%)	—	141.9%	123.9%	114.2%	—	682
Injection fee not deducted in years 1–10 (gross sale 0.047)	0.064	113.8%	99.5%	92.7%	48	884
Years 11–25 price 0.015 (low PTF)	0.057	128.7%	111.9%	103.1%	—	761
Limit reference: previous-year grid withdrawal	0.056	134.6%	114.5%	98.9%	80	735
Conservative yield: 14% first-year loss (1,577 kWh/kWp) and degradation	0.061	124.2%	111.8%	104.9%	—	763
EPİAŞ-derived yield: 1,608 kWh/kWp (25-year average assumption)	0.060	121.8%	105.4%	96.9%	67	826
Optimistic yield: 1,783 kWh/kWp (Kayabaşı; back-calculated ≈3% loss)	0.059	120.6%	101.7%	92.1%	54	862
Soiling: 3% loss relative to baseline yield in every year (yield × 0.97)	0.060	123.3%	109.4%	102.0%	159	786
Beet pumping energy 1,800 kWh/ha (cereals proportional)	0.053	146.7%	119.5%	105.9%	151	686
Beet pumping energy 3,100 kWh/ha (cereals proportional)	0.059	126.9%	108.7%	99.4%	88	793
Pumps run evenly over 24 hours	0.055	132.8%	116.2%	103.5%	127	719
Pumps run at night (20–08)	0.038	147.6%	144.6%	144.6%	—	437
Pumps run every other day (twice the power on that day)	0.050	130.5%	124.4%	123.2%	—	638
Medium-voltage tariff	0.058	123.8%	109.6%	102.4%	—	784
Only the active-energy charge avoided on self-consumption	0.040	147.6%	141.9%	139.9%	—	464
Additional farming cost USD 300/ha-year (total project)	0.060	127.3%	111.9%	103.8%	—	762

When the effect of installed capacity density is assessed together with the consumption profile, the relationship implied by a framework in which every kWh is valued at a flat rate (e.g., Kayabaşı, 2026) reverses (Figure 3c). Because additional output falls mostly into surplus and into the above-limit portion that generates no revenue, on a 25 ha farm the equivalent value drops to USD 0.027/kWh at 200 kWp/ha and YRR rises to 293%, and on a 50 ha farm YRR* reaches 123.3% at 100 kWp/ha. Under the 2026 regime, increasing density out of proportion to the associated consumption is an over-investment that pushes the energy component into loss.*

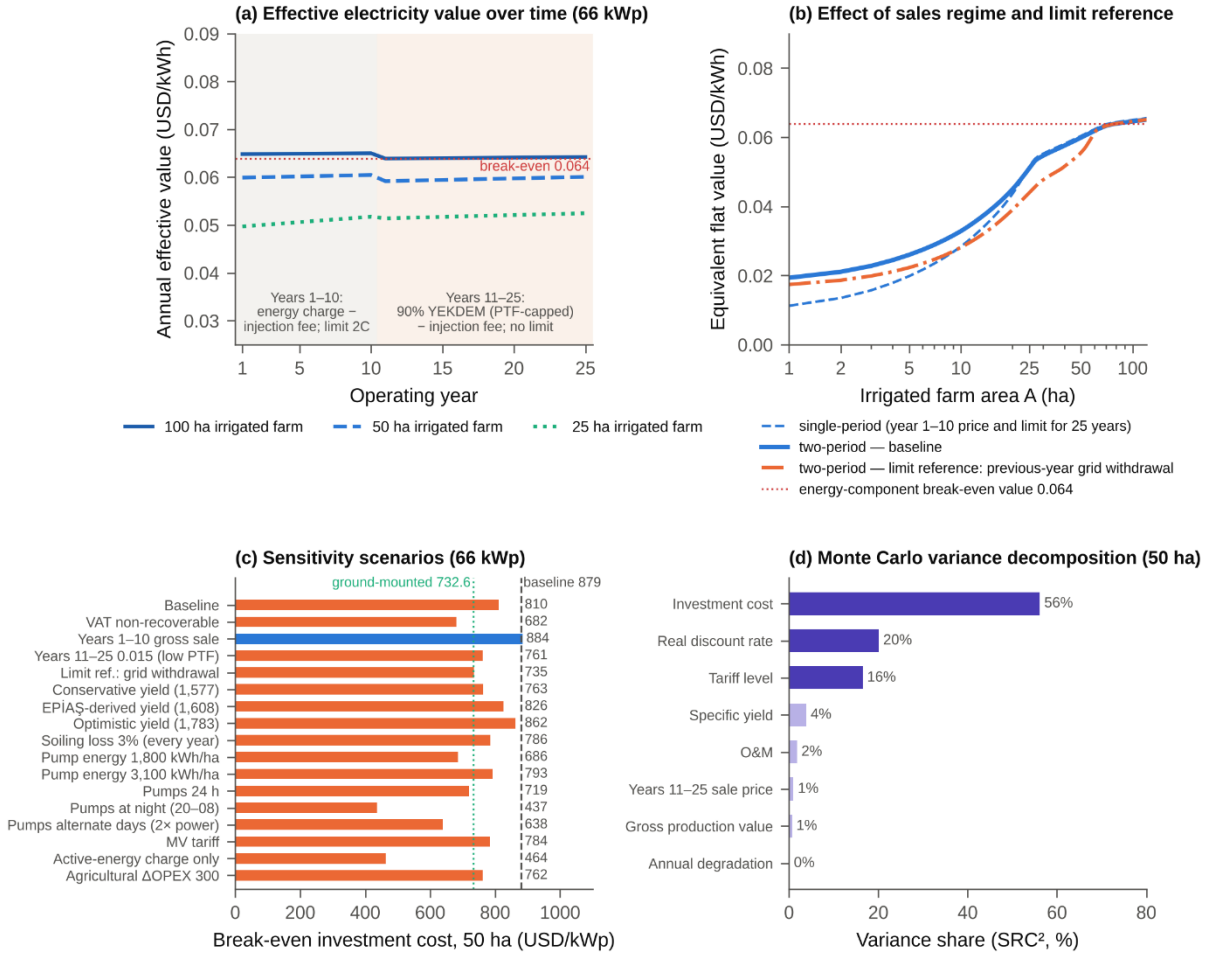


Figure 4. Time dimension and sensitivity: (a) evolution of the annual effective value; (b) effect of the sales regime and the limit reference on the equivalent value; (c) break-even investment cost under the Table 6 scenarios for a 50 ha farm (blue: above the baseline investment cost, energy component profitable; orange: below; dashed line: baseline investment cost; dotted line: ground-mounted plant; the additional-farming-cost bar refers to the total project); (d) Monte Carlo variance decomposition (SRC², normalized to explained variance; 50 ha). Source: Author's calculations.

3.2.4. Parameter uncertainty

In the Monte Carlo simulation, the median YRR* is 127%, 111%, and 103% on farms of 25, 50, and 100 ha, respectively (Figure 3d). Under the judgmental distributions, the share of draws in which the energy component alone repays the investment is about 5% at 25 ha, 27% at 50 ha, and 44% at 100 ha; in the non-recoverable-VAT regime, these shares fall to below 1%, 9%, and 20%. Assuming a dependence of $\rho = 0.5$ between investment cost and tariff level changes the shares by less than 4 percentage points. At 50 ha, YRR* exceeds 90% in about 88% of draws; at this scale the economic threshold mostly lies above the French 90% floor, and the binding constraint becomes the project's own feasibility. At 50 ha, about 56% of the variance of YRR* stems from investment cost, 20% from the discount rate, 16% from the tariff level, and 4% from specific yield (SRC², normalized to explained variance; $R^2 = 0.98$; Figure 4d).

3.2.5. Reconciliation with previous studies and comparison with a compact irrigation PV plant

The simple payback period of 4.70 years reported by Kayabaşı (2026) for Konya stems from combining an investment cost of USD 577/kWp with a savings value of USD 0.069/kWh

without discounting; this savings value lies above the ceiling attainable for the representative profile under the 2026 regime (USD 0.066/kWh).

Ozcanli and Dogan (2026) found that, in the same province and with the same discount rate and lifetime (8%; 25 years), grid-connected pumping yields a negative NPV at 1 ha and a positive NPV at 5 ha. In that study, PV capacity was sized to the load (1.4–2.4 kWp/ha; about 0.78 kWp per MWh of annual load), the avoided cost was calculated on the smaller of annual generation and annual demand, and the tariff was taken as USD 0.135/kWh including taxes. This kWp/MWh ratio lies well above the break-even ratio under hourly netting (0.46; Section 3.2.1); the difference between the two results therefore stems less from scale than from the netting rule, the tariff level, and the tax position. Assuming annual netting for the same unit raises the equivalent value at 50 ha from USD 0.060 to 0.081/kWh and the break-even investment cost from USD 810 to 1,168/kWp.

Besides the reference farm without PV, the producer's second alternative is to continue farming the productive parcel and to install the same capacity as a compact irrigation PV plant: the Regulation of April 4, 2026, restricts solar plants to dry marginal land but allows irrigation-purpose solar plants to be installed in removable form on one of the farm's parcels, provided that they do not exceed 1.5% of the area irrigated by the pumping facilities or the farm's agricultural electricity demand (Official Gazette, 2026b, Annex 1). A compact 66 kWp plant occupies about 0.07–0.15 ha; at the rotation-average GPV, the annual cost of this area is USD 185–397 (an upper bound for an area to which no inputs are applied; on a gross-margin basis the advantage grows further). If the generation profile, associated consumption, metering point, and surplus-sale conditions of the two options are taken to be identical, their electricity revenues cancel out, and the agrivoltaic premium remains as an additional cost of USD 906/ha per year (14.8% of beet GPV); the compact plant is ahead by about USD 510–720 per year even before the agrivoltaic system's own yield loss is taken into account, and the break-even premium that this land cost would cover is only USD 30–64/kWp (4–9%). At the ground-mounted cost (USD 732.6/kWp), the energy component is positive from about 32 ha of irrigated land. The result depends on three conditions. The first is the connection: if an agrivoltaic unit installed at its own pump's metering point also avoids the distribution charge on self-consumption while the compact plant remains at a different metering point, the difference shifts the break-even investment cost at 50 ha by about USD 350/kWp and exceeds the premium. The second is the demand cap: if the condition is applied on an energy basis, the first-year generation of 66 kWp (≈110 MWh) exceeds demand on farms below about 61 ha; if the same cap is also applied to agrivoltaics, capacity below this scale must be downsized to the load. The third is the sales condition: if the irrigation-purpose plant cannot sell its surplus while the agrivoltaic unit can under Article 26, the ranking reverses and the agrivoltaic unit is ahead by about USD 750–1,600 per year at 25–100 ha.

4. DISCUSSION: STANDARD, GOVERNANCE AND POLICY DESIGN

4.1. International thresholds and Turkish legislation in 2026

The core regulatory problem in scaling up agrivoltaics is how to measure whether primary agricultural use is genuine (Table 7). DIN SPEC 91434 in Germany (DIN, 2021), Decree No. 2024-318 in France (Décret n° 2024-318, 2024), and administrative practice in Japan set yield floors of 66% of the reference, 90% of the control area, and 80% of the local norm, respectively, together with area and coverage limits; for rice, the shading rate that keeps yield at the 80% threshold has been estimated at about 32% (Gonocruz et al., 2021). In Türkiye, the Regulation of April 4, 2026, requires land for solar plants to be dry marginal agricultural land

and routes rooftop plants that are annexes to agricultural structures, as well as irrigation-purpose plants, through a separate assessment channel (Official Gazette, 2026b); the amendment of August 4, 2026, did not change the provisions on solar energy (Official Gazette, 2026c). In this framework, the concept of an "irrigation-purpose solar plant" does not cover high-clearance systems physically integrated with crop production, and there is no separate agrivoltaic category. On the electricity side, hourly netting, the 2C limit, and post-ten-year sales capped at the PTF effectively turn the proportioning of installed capacity to associated consumption into a design constraint, creating a second, Türkiye-specific bound alongside international yield floors.

This constraint also determines the scale of capacity: at break-even, installed capacity under the baseline assumptions is about 0.46 kWp per MWh of associated annual load (Section 3.2.1; 0.66 with optimistic yield), or 0.4–0.8 kWp per hectare of farm area depending on the pumping-energy assumption. For licensed projects selling only at market prices, the assumed PTF for solar hours (≈ USD 0.044/kWh) lies far below the break-even value (0.064), so agrivoltaics is even weaker on this route.

Table 7. Approaches to primary agricultural use and performance in selected countries.

Country	Framework	Agricultural performance test	Area / coverage approach
Germany	DIN SPEC 91434 (2021)	≥ 66% of reference yield (total project area)	Non-agricultural area ≤ 10% (Category I), ≤ 15% (Category II)
France	Décret n° 2024-318	> 90% of control-area yield	Non-farmable area ≤ 10%; coverage ≤ 40% for certain large systems
Japan	Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) administrative practice	≥ 80% of local normal yield	No fixed coverage limit defined; the 80% floor corresponds to ≈ 32% shading for rice (estimate; Gonocruz et al., 2021)
Türkiye	Official Gazette No. 33214 (2026) and unlicensed generation regime	No agrivoltaic-specific yield threshold	Dry marginal land requirement; separate channel for irrigation-purpose solar plants; annual generation ≤ 2 × associated consumption, surplus above the limit unpaid

4.2. Public eligibility, private feasibility, and minimum principles of a standard

The Konya case requires a conceptual separation of two conditions. Public eligibility means that the realized YRR meets a project-independent agricultural protection floor (YRR_{floor}); this floor is a mandatory and audited physical constraint, and a low economic threshold does not render it ineffective. Private feasibility means that the project's additional NPV relative to reference farming is non-negative; by Eq. (4), this is equivalent to the realized YRR remaining above YRR*. The project satisfies both conditions only if:

$$YRR \geq \max(YRR^{*}, YRR_{floor}) \quad \Leftrightarrow \quad (YRR \geq YRR_{floor}) \wedge (NPV_{AV} \geq 0) \tag{7}$$

Equation (7) is an investment-screening rule that shows which condition is binding. If the economic threshold lies above the floor, the binding constraint is the project's own feasibility; if it lies below, it is the public floor. The contribution of the rule emerges together with the finding for the 2026 regime: because projects based on self-consumption have no private incentive to push density beyond the associated load, the agricultural floor functions less as a tool for limiting density increases than as a safeguard against crop loss. Public screening should be assessed at the pre-tax resource cost (net of VAT), and private feasibility at the farm's own tax position. The exact level of the floor should be set with multi-year Turkish field data;

international practice points to a range of 66–90%. Using a single YRR in Eq. (7) assumes that the public floor and the economic threshold rest on the same yield indicator or that quality is constant; if, for beet, the floor is based on root yield and the threshold on sugar yield, the two conditions are tested separately: $YRR_{phys} \geq YRR_{floor}$ *and* $YRR_{econ} \geq YRR^{*}$.

The minimum principles of the proposed standard can be grouped under four headings. (A) Primary agricultural use: *the pre-project cropping pattern, reference yields of the last three years, and a farm business plan; reporting of yield, quality (polar sugar for beet), irrigation water, and soil indicators against an open reference plot for at least the first three production years; and a cap of 10–15% on the permanent non-agricultural footprint. (B)* Economic transparency and energy design: *disclosure in the application of the parameters of the break-even investment cost and YRR* calculations (investment cost, tax position, consumption profile and pumping schedule, post-ten-year price assumption, density, discount rate, and loss basis); sizing of installed capacity to the measured hourly load profile of the associated facilities; and assessment of the options of daytime pumping, storage, and collective association at the level of irrigation associations. (C)* Engineering and soil–water: *clearances and turning corridors based on actual machinery, management of construction compaction and stormwater, a decommissioning guarantee, and a land-restoration plan. (D)* Contracts, water governance, and open data: *transparent rent and revenue sharing, liability for crop loss, and decision rights through a standard contract; pairing of incentives with smart metering and volumetric water allocation to counter the risk that solar pumping increases water abstraction (Section 3.1.2); and transfer of the data of publicly supported pilots to a common database.*

4.3. Pilot and research agenda

The roll-out of agrivoltaics in Türkiye should proceed through combinations of agro-ecological zone × crop × machinery × water constraint, in the sequence “crop first, panels second”: the farm’s crop–phenology–machinery–water map, its hourly consumption profile, and its pumping schedule should be measured; installed capacity should be sized to the paid-generation limit and the measured daytime load; the agrivoltaic premium should be determined directly by obtaining local quotes for different structure heights at the same capacity; and no move to commercial scale should be made without a reference plot and a three-year monitoring plan. A national support program should fund measured pilots before capacity subsidies; given that uptake of investment support increases with producer-organization membership (Doğan Öz & Saner, 2021), sugar-beet growers’ cooperatives should be considered as program vehicles.

4.4. Limitations

The Konya case rests not on a measurement of under-panel yield but on the economic threshold value of such a measurement; the rotation bases ignore the different shade responses of crops and are sensitive to the starting year of the rotation and to the horizon; the gross-margin ratio is transferred from Kırşehir. Because the consumption profile is based not on measured farm data but on assumptions of a representative irrigation calendar, daytime pumping, and monthly typical days, the results hold under the condition of daytime pumping and a load smoothed within the day, and err on the optimistic side for the self-consumption share (with a single set pumping every other day, the ceiling falls to USD 650/kWp; Section 3.2.3); storage, aligning pump timing with generation, and the association of several consumption facilities were not modeled, and each would raise the effective value to the extent that it increases self-consumption. The results rest on the assumption that the pumping load is aggregated at a single metering point (Section 3.2.1). The electricity and gas consumption tax was not included in the avoided charge, the VAT position was represented by two extreme regimes, and the timing of

the recovery of carried-forward VAT was not modeled. The post-ten-year sales regime, the levels of YEKDEM and PTF, and the metering basis of the limit reference will be clarified in practice. The results are before support: if grants or loan support lower the effective investment cost below the break-even values in Table 4, the energy component turns positive. Türkiye-specific measured data on agrivoltaic structure costs are limited, and the Monte Carlo distributions are judgmental. The results refer to price, exchange-rate, tariff, and regulatory levels as of October 30, 2026.

5. CONCLUSION AND POLICY IMPLICATIONS

It has been argued that agrivoltaic systems can ease the dilemma between protecting farmland and deploying renewable energy (Dupraz et al., 2011; Trommsdorff et al., 2021); this expectation can hold only for systems that make crop physiology, the water budget, machinery movement, and farm economics design inputs of the PV geometry. Within Türkiye's 2023–2026 evidence base, sugar beet stands out as the analytical priority because of its production scale, its water and energy intensity, and the availability of crop-specific designs.

The main message of the Konya case is that, under the 2026 hourly netting regime, the value of field-sited PV is bounded by the farm's daytime load and irrigation calendar. Because the equivalent value saturates at about USD 0.066/kWh, at an 8% real discount rate and 2026 tariffs electricity revenue with standard losses excluding soiling cannot cover investment above about USD 914/kWp at any scale (849–986 across specific-yield assumptions; 783–1,086 across discount rates). Because the 20% agrivoltaic premium lies just below this ceiling, it is covered by a narrow margin only on large farms with a single metering point (above about 80 ha under the baseline assumptions, 48–159 ha across scenarios), and at no scale under conservative yield or when VAT cannot be recovered; the 73% elevated-structure premium cannot be covered. Within the same metering point, demand cap, and surplus-sale conditions, and assuming the 20% premium, the compact irrigation PV plant remains ahead even before yield loss is taken into account; if the irrigation-purpose plant cannot sell its surplus, the ranking reverses. Capacity out of proportion to the associated consumption pushes the energy component into loss, and with night-time or intermittent pumping or a connection that cannot avoid the distribution charge, the component remains loss-making at every scale. More than half of the threshold uncertainty stems from investment cost.

In policy terms, the findings call for defining public eligibility and private feasibility as separate conditions and using the economic threshold as screening information. If both plants hold the same right to sell surplus for payment, under the 2026 rules agrivoltaics can be justified relative to a compact irrigation PV plant only if measured non-electricity benefits cover the premium or if siting and connection constraints are binding. Because the loss tolerance stays below a few percentage points at scales close to break-even, the decision depends on measuring under-panel yield. The first step is a sugar beet–rotation pilot in Konya, with a reference plot and open data, that jointly measures the actual structure cost, the hourly consumption profile, and under-panel root and sugar yields.

REFERENCES

Ağır, S., Derin-Güre, P., & Şentürk, B. (2023). Farmers' perspectives on challenges and opportunities of agrivoltaics in Turkiye: An institutional perspective. *Renewable Energy, 212*, 35–49. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.137

Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy, 281*, 116102. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102

Amaducci, S., Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy, 220*, 545–561. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081

Artru, S., Lassois, L., Vancutsem, F., Reubens, B., & Garré, S. (2018). Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. *European Journal of Agronomy, 97*, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.011

Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability, 2*(9), 848–855. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5

Central Bank of the Republic of Türkiye (CBRT). (2026, October 30). *Gösterge niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası kurları* [Indicative exchange rates of the Central Bank of the Republic of Türkiye] (Bulletin No. 2026/204). https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202610/30102026.xml

Chatzipanagi, A., Taylor, N., & Jaeger-Waldau, A. (2023). *Overview of the potential and challenges for agri-photovoltaics in the European Union* (EUR 31482 EN; JRC132879). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/208702

Coşgun, A. E., Endiz, M. S., Demir, H., & Özcan, M. (2024). Agrivoltaic systems for sustainable energy and agriculture integration in Turkey. *Heliyon, 10*(11), e32300. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32300

Cuppari, R. I., Higgins, C. W., & Characklis, G. W. (2021). Agrivoltaics and weather risk: A diversification strategy for landowners. *Applied Energy, 291*, 116809. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116809

Décret n° 2024-318 du 8 avril 2024 relatif au développement de l'agrivoltaïsme et aux conditions d'implantation des installations photovoltaïques sur des terrains agricoles, naturels ou forestiers [Decree on the development of agrivoltaics and the siting conditions of photovoltaic installations on agricultural, natural, or forest land] (NOR ECOR2321918D). (2024). *Journal officiel de la République française*, No. 0083, April 9, 2024, text No. 2. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049386027

DIN. (2021). *Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung* [Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use] (DIN SPEC 91434:2021-05). Beuth Verlag. https://doi.org/10.31030/3257526

Doğan Öz, B., & Saner, G. (2021). Kiraz üretimi yapan işletmelerin Makine ve Ekipman Alımlarının Desteklenmesi Programından (MEADP) yararlanma eğiliminin belirlenmesi ve devamlılığı: İzmir-Kemalpaşa ilçesi örneği [Determining the investment perceptions of cherry-growing farms within the Support Scheme for the Purchase of Agricultural Machines and Equipment: The case of İzmir-Kemalpaşa district]. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 18*(1), 1–9. https://doi.org/10.33462/jotaf.623488

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy, 36*(10), 2725–2732. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005

Energy Market Regulatory Authority (EPDK). (2026a). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 02/04/2026 tarihli ve 14461 sayılı Kararı: 4/4/2026 tarihinden itibaren geçerli vergiler hariç elektrik perakende satış tarife tablosu [Board Decision No. 14461 of April 2, 2026: Retail electricity tariff table effective from April 4, 2026, excluding taxes]. *Official Gazette*, April 4, 2026, No. 33214. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/04/20260404-4.pdf

Energy Market Regulatory Authority (EPDK). (2026b). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 30/04/2026 tarihli ve 14531 sayılı Kararı: Lisanssız Elektrik Üretim Tesisleri ve İlişkili Olduğu Tüketim Tesislerinin Mahsuplaşma İşlemlerine İlişkin Usul ve Esaslar [Board Decision No. 14531 of April 30, 2026: Procedures and principles for the netting of unlicensed electricity generation facilities and their associated consumption facilities]. *Official Gazette*, May 5, 2026, No. 33244. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/05/20260505-6.pdf

Energy Market Regulatory Authority (EPDK). (2026c). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 18/06/2026 tarihli ve 14671 sayılı Kararı: On yıllık süresini tamamlayan ve tüketim tesisi ile farklı ölçüm noktasında bulunan lisanssız üretim tesislerinde 2026 yılında satışa konu edilecek ihtiyaç fazlası miktarı [Board Decision No. 14671 of June 18, 2026: Quantity of surplus electricity eligible for sale in 2026 by unlicensed facilities that have completed the ten-year period and are located at a metering point different from the consumption facility]. *Official Gazette*, June 20, 2026, No. 33286. [Decisions No. 14671, 14676–14679, and 14681 of June 18, 2026, were published as a single text]. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/06/20260620-22.pdf

Energy Market Regulatory Authority (EPDK). (2026d). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 18/06/2026 tarihli ve 14681 sayılı Kararı: 11415 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı kapsamında lisanssız üretime devam eden tesislere veriş yönlü dağıtım bedeli olarak Lisanssız Üretici-2 tarifesinin uygulanması [Board Decision No. 14681 of June 18, 2026: Application of the Unlicensed Producer-2 tariff as the injection-side distribution fee for facilities continuing unlicensed generation under Presidential Decision No. 11415]. *Official Gazette*, June 20, 2026, No. 33286. [Decisions No. 14671, 14676–14679, and 14681 of June 18, 2026, were published as a single text]. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/06/20260620-22.pdf

Erdem, M. (2025). An evaluation of incentive policy effects on solar power plant cost analysis: A comparative case study approach. *Energy, 330*, 136901. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136901

Feuerbacher, A., Herrmann, T., Neuenfeldt, S., Laub, M., & Gocht, A. (2022). Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 168*, 112784. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112784

Fraunhofer ISE. (2024). *Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and the energy transition – A guideline for Germany* (3rd ed.). Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html

GENSED. (2026, July 2). *EPİAŞ, Temmuz 2026 YEKDEM fiyatlarını açıkladı* [EPİAŞ announces the July 2026 YEKDEM prices; solar YEKDEM price for June 1, 2026: 270.79 kuruş/kWh]. Güneş Enerjisi ve Depolama Sanayicileri Derneği. https://gensed.org/epias-temmuz-2026-yekdem-fiyatlarini-acikladi/

Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy, 1*(1), 55–69. https://doi.org/10.1080/01425918208909875

Gonocruz, R. A., Nakamura, R., Yoshino, K., Homma, M., Doi, T., Yoshida, Y., & Tani, A. (2021). Analysis of the rice yield under an agrivoltaic system: A case study in Japan. *Environments, 8*(7), 65. https://doi.org/10.3390/environments8070065

Gümüş, H., Çubukçu, M., Kuzyaka, D., Çolak, N., Yüksel, M., Altındişli, A., Zafer, C., & Özden, T. (2026). An integrated IoT-based decision-support platform for agrivoltaic systems:

Design, implementation and pilot-scale field evaluation. *Smart Agricultural Technology, 15*, 102579. https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.102579

Günhan, Y., & Taşkın, O. (2025). Agrivoltaic impact on some lettuce quality attributes and photovoltaic power generation. *Plants, 14*(18), 2853. https://doi.org/10.3390/plants14182853

Güven, D., & Kayalica, M. O. (2026). Optimizing agrivoltaic systems for sustainable energy and food production: A case study of East Thrace, Türkiye. *Renewable Energy, 270*, 125913. https://doi.org/10.1016/j.renene.2026.125913

IRENA. (2025). *Renewable power generation costs in 2024*. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024

Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates: An analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 21*(1), 12–29. https://doi.org/10.1002/pip.1182

JRC. (2026). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) 5.3* [Online calculation tool and "Data sources and calculation methods" page; PVGIS-SARAH3, 2005–2023; accessed November 6, 2026]. European Commission, Joint Research Centre. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/; https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/general-information/data-sources-calculation-methods_en

Kafle, K., Balasubramanya, S., Stifel, D., & Khadka, M. (2024). Solar-powered irrigation in Nepal: Implications for fossil fuel use and groundwater extraction. *Environmental Research Letters, 19*(8), 084012. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad5f46

Karakaya, E., Uzundumlu, A. S., & Doğru, R. (2026). Determination of cost, profitability and energy balance of sugar beet production: Example of Kırşehir Province. *Sugar Tech, 28*(1), 299–312. https://doi.org/10.1007/s12355-025-01665-4

Kayabaşı, R. (2026). Energy, carbon emission and sustainability assessment of sugar beet production using agrivoltaic systems in Türkiye. *Energies, 19*(21), 5124. https://doi.org/10.3390/en19215124

Khanna, M., Mwebaze, P., McCall, J., Majeed, F., Lee, D., Du, X., Jia, M., Miljkovic, N., Peng, B., Miao, R., Guan, K., & Macknick, J. (2026). Economic incentives for agrivoltaics systems with commodity crops in the Midwestern United States. *Journal of Benefit-Cost Analysis, 17*(1–2), 18–51. https://doi.org/10.1017/bca.2026.10051

Kırbaş, İ. (2025). The agrivoltaic potential of Türkiye. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 14*(1), 149–162. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1558261

Konya Provincial Directorate of Agriculture and Forestry. (2025). *Konya tarımı: Temmuz 2025* [Konya agriculture: July 2025] [Briefing]. Ministry of Agriculture and Forestry of the Republic of Türkiye. https://konya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/kitap/konyatarim2025temmuzbrf.pdf

Kuzyaka, D., Kılınçoğlu, D., Şahin, H. D., Yalçın, Ö., & Özden, T. (2026). Crop-aligned agrivoltaic design for semi-arid and Mediterranean Türkiye: Simulated PPFD suitability under A- and V-shaped bifacial PV layouts. *The Open Agriculture Journal, 20*(1), e18743315496436. https://doi.org/10.2174/0118743315496436260827112304

Laub, M., Pataczek, L., Feuerbacher, A., Zikeli, S., & Högy, P. (2022). Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development, 42*(3), 51. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00783-7

Liu, H., Wu, C., Yu, Y., Zhao, W., Liu, J., Yu, H., Zhuang, Y., & Yetemen, O. (2023). Effect of solar farms on soil erosion in hilly environments: A modeling study from the perspective of

hydrological connectivity. *Water Resources Research, 59*(12), e2023WR035067. https://doi.org/10.1029/2023WR035067

Ministry of Agriculture and Forestry. (2026a, June 2). *2026 yılı hububat alım ve satış fiyatları belirlendi* [2026 cereal purchase and sale prices announced]. https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/7092/2026-Yili-Hububat-Alim-Ve-Satis-Fiyatlari-Belirlendi

Ministry of Agriculture and Forestry. (2026b, October 13). *TÜRKŞEKER'in şeker pancarı alım fiyatı ton başına 3 bin 720 lira olarak belirlendi* [TÜRKŞEKER's sugar beet purchase price set at TRY 3,720 per ton]. https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/7320/

Official Gazette. (2019, May 12). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği [Regulation on Unlicensed Electricity Generation in the Electricity Market] (No. 30772). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm

Official Gazette. (2026a, April 2). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik [Regulation amending the Regulation on Unlicensed Electricity Generation in the Electricity Market] (No. 33212). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/04/20260402-4.htm

Official Gazette. (2026b, April 4). Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanılması Hakkında Yönetmelik [Regulation on the Protection and Use of Agricultural Land] (No. 33214). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/04/20260404-2.htm [Annexes: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/04/20260404-2-1.pdf]

Official Gazette. (2026c, August 4). Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanılması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik [Regulation amending the Regulation on the Protection and Use of Agricultural Land] (No. 33330). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/08/20260804-4.htm

Official Gazette. (2026d, October 19). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik [Regulation amending the Regulation on Unlicensed Electricity Generation in the Electricity Market] (No. 33405). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/10/20261019-6.htm

Orhan, O., Haghshenas Haghighi, M., Demir, V., Gökkaya, E., Gutiérrez, F., & Al-Halbouni, D. (2024). Spatial and temporal patterns of land subsidence and sinkhole occurrence in the Konya Endorheic Basin, Turkey. *Geosciences, 14*(1), 5. https://doi.org/10.3390/geosciences14010005

Ozcanli, A. K., & Dogan, F. N. (2026). Techno-economic assessment of grid-connected and off-grid solar water pumping for sugar beet irrigation in Konya, Türkiye. *Sustainability, 18*(10), 4786. https://doi.org/10.3390/su18104786

Presidential Decision. (2022, March 1). Mal ve hizmetlere uygulanacak katma değer vergisi oranlarının tespitine ilişkin Kararda değişiklik yapılmasına dair Karar [Decision amending the Decision on the determination of value-added tax rates applicable to goods and services] (Decision No. 5249). *Official Gazette*, No. 31765. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/03/20220301.htm

Presidential Decision. (2023, July 7). Mal ve hizmetlere uygulanacak katma değer vergisi oranlarının tespitine ilişkin Kararda değişiklik yapılmasına dair Karar [Decision amending the Decision on the determination of value-added tax rates applicable to goods and services] (Decision No. 7346). *Official Gazette*, No. 32241. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/07/20230707.htm

Presidential Decision. (2026, June 13). 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesi kapsamında lisanssız üretim faaliyetinde bulunan ve YEK Destekleme Mekanizmasına

tabi olduğu on yıllık sürenin bitiminden itibaren lisanssız üretim faaliyetine devam eden elektrik üretim tesislerinde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat ile uygulamaya ilişkin usul ve esaslar hakkındaki Kararın yürürlüğe konulması hakkında Karar [Decision on the price applicable to surplus electricity from unlicensed generation facilities that continue operating after the ten-year YEKDEM support period, and on the related procedures and principles] (Decision No. 11415). *Official Gazette*, No. 33279. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/06/20260613-3.pdf

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., & Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy, 265*, 114737. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737

Şentürk, B. (2023). Tarımsal arazilerin ikili kullanımında gelir-gider analizi: Türkiye TarımGES örneği [Revenue–expenditure analysis for the dual use of agricultural land: The case of agrivoltaics in Türkiye]. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 10*(4), 1147–1155. https://doi.org/10.30910/turkjans.1351696

Şentürk, B., Oylek, Y., Kanar, Z. S., Çelik, R., Kurtuluş, G., & Özden, T. (2025). The impact of photovoltaic panels on the environment and yield parameters in an open field agrivoltaic system: A case study in Ayaş, Ankara. *Renewable Energy, 253*, 123553. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123553

Topak, R., Acar, B., & Uğurlu, N. (2009). Analysis of energy use and input costs for irrigation in field crop production: A case study for the Konya Plain of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture, 33*(7), 757–771. https://doi.org/10.1080/10440040903221276

Topak, R., Süheri, S., & Acar, B. (2010). Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. *Energy, 35*(12), 5464–5471. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.018

Trommsdorff, M., Campana, P. E., Macknick, J., Fernández Solas, Á., Gorjian, S., & Tsanakas, I. (2025). *Dual land use for agriculture and solar power production: Overview and performance of agrivoltaic systems* (Report IEA-PVPS T13-29:2025). IEA Photovoltaic Power Systems Programme. https://doi.org/10.69766/XAEU5008

Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P., & Obergfell, T. (2021). Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 140*, 110694. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694

TÜRKŞEKER. (2022). *2021 yılı sektör raporu* [2021 sector report]. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2021_Sektor_Raporu.pdf

Yalçın, Ö., Kuzyaka, D., & Özden, T. (2025a). Agrivoltaic system design for sugar beets and wheat in central Anatolia. *Renewable Energy, 245*, 122800. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122800

Yalçın, Ö., Kuzyaka, D., & Özden, T. (2025b). Photovoltaic solar power plant integrated over fruit trees: Erciyes AgriPV. In *ICASI 2025 – 3. Uluslararası ve 16. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi, Özet Kitabı* [ICASI 2025 – 3rd International and 16th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation: Book of abstracts] (June 24–27, 2025, Ankara). Ankara University Press. https://s-atp.erciyes.edu.tr/Dosya/MainContent/86988aff-9b00-496c-9331-4e00ca38abfa.pdf

ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN FEN BİLİMLERİ BAĞLAMINDA YAPAY ZEKÂ TARAFINDAN ÜRETİLEN YANLIŞ BİLGİLERİ FARK ETME VE DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ

Prof. Dr. Esra BENLİ ÖZDEMİR
Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2246-2420
Fen Bilimleri Öğretmeni Dilek KİTİR
Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4919-5956

ÖZET:
Bu araştırmanın amacı, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerini incelemektir. Temel nitel araştırma deseninde yürütülen çalışmanın katılımcılarını, 2026–2027 eğitim-öğretim yılında Ankara'daki bir devlet ortaokulunda öğrenim gören ve ölçüt örnekleme yöntemiyle belirlenen 24 yedinci sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Veriler, "Senaryo Temelli Yapay Zekâ Bilgilerini Değerlendirme Formu" aracılığıyla toplanmış ve içerik analiziyle çözümlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre öğrencilerin yanlış bilgileri fark etme süreçlerinde hatalı açıklamayı doğru kabul etme (f=17; %27,9) ve bilimsel gerekçe oluşturamama (f=15; %24,6) öne çıkmıştır. Bilimsel bilgileri değerlendirmede açıklamanın anlaşılır olması (f=9; %17,0), bilimsel bilgilerle uyum (f=8; %15,1) ve ders kitabındaki bilgilerle karşılaştırma (f=7; %13,2) belirgin ölçütler olmuştur. Bilgi doğrulama süreçlerinde ders kitabına başvurma (f=12; %19,7) ve öğretmene danışma (f=11; %18,0) öne çıkarken deney veya gözlem yoluyla kontrol etme (f=3; %4,9) sınırlı kalmıştır. Çalışmadan elde edilen bir diğer bulgu ise, yapay zekâya güvenme gerekçelerinde geniş bilgiye sahip olduğunu düşünme (f=13; %19,4), güvenmeme gerekçelerinde ise yanlış bilgi üretebileceğini düşünme (f=11; %16,4) öne çıkmıştır. Sonuç olarak öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri eleştirel değerlendirme, bilimsel hataları gerekçelendirme ve kanıta dayalı doğrulama becerilerinin geliştirilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Fen bilimleri eğitimi, yapay zekâ okuryazarlığı, yanlış bilgi, bilgi doğrulama, eleştirel değerlendirme.

EXAMINING MIDDLE SCHOOL STUDENTS' PROCESSES OF IDENTIFYING AND EVALUATING AI-GENERATED MISINFORMATION IN THE CONTEXT OF SCIENCE EDUCATION

ABSTRACT:
The aim of this study is to examine the processes through which middle school students identify and evaluate misinformation generated by artificial intelligence in the context of science education. The study employed a basic qualitative research design and involved 24 seventh-grade students selected through criterion sampling from a public middle school in Ankara during the 2026–2027 academic year. Data were collected using the "Scenario-Based Artificial Intelligence Information Evaluation Form" and analyzed through content analysis. According to the findings, accepting incorrect explanations as accurate (f=17; 27.9%) and being unable to provide scientific justifications (f=15; 24.6%) were prominent difficulties in identifying

misinformation. In evaluating scientific information, comprehensibility (f=9; 17.0%), consistency with scientific knowledge (f=8; 15.1%), and comparison with textbook information (f=7; 13.2%) emerged as key criteria. Regarding verification strategies, consulting textbooks (f=12; 19.7%) and seeking guidance from science teachers (f=11; 18.0%) were prominent, whereas verification through experiments or observations (f=3; 4.9%) was limited. Another finding of the study was that, the belief that AI possesses extensive knowledge (f=13; 19.4%) emerged as a reason for trusting AI, while awareness of its potential to generate inaccurate information (f=11; 16.4%) emerged as a reason for distrust. Overall, the findings highlight the importance of developing students' abilities to critically evaluate AI-generated scientific information, identify scientific inaccuracies with appropriate justification, and employ evidence-based verification strategies.
Keywords: Science education, artificial intelligence literacy, misinformation, information verification, critical evaluation.

1. GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, eğitim ortamlarında bilgiye erişme, bilgiyi yapılandırma ve öğrenme süreçlerini önemli ölçüde dönüştürmektedir. Özellikle üretken yapay zekâ uygulamaları, öğrencilerin sorularına doğal dilde yanıt verebilmesi, karmaşık kavramları açıklayabilmesi ve bireyselleştirilmiş öğrenme desteği sunabilmesi bakımından eğitimde yeni olanaklar ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin eğitim süreçlerine dâhil edilmesi, üretilen bilgilerin doğruluğu, güvenilirliği ve bilimsel geçerliliği konusunda çeşitli tartışmaları beraberinde getirmektedir. Kasneci ve diğerleri (2023), büyük dil modellerinin eğitimde öğrenmeyi destekleme potansiyeline sahip olduğunu ancak bu teknolojilerden etkili biçimde yararlanılabilmesi için eleştirel düşünme ve bilgi doğrulama becerilerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Üretken yapay zekâ sistemlerinin önemli sınırlılıklarından biri, bilimsel açıdan yanlış, eksik veya yanıltıcı bilgiler üretebilmeleridir. Yapay zekâ tarafından oluşturulan yanıtlar dilsel açıdan tutarlı ve ikna edici görünse de bu durum bilgilerin bilimsel olarak doğru olduğunu garanti etmemektedir. Lo (2023), ChatGPT'nin eğitimde kullanımına yönelik gerçekleştirdiği alanyazın incelemesinde, yapay zekâ sistemlerinin farklı disiplinlerde değişken doğruluk düzeylerine sahip olduğunu ve yanlış bilgi üretiminin eğitim açısından önemli risklerden biri olduğunu ortaya koymuştur. Benzer biçimde Kasneci ve diğerleri (2023), yapay zekâ tarafından üretilen içeriklerin insan denetiminden geçirilmesi ve farklı kaynaklardan doğrulanmasının önemine dikkat çekmektedir.

Fen bilimleri eğitimi açısından değerlendirildiğinde, yapay zekâ tarafından üretilen bilgilerin doğruluğunun sorgulanması büyük bir önem taşımaktadır. Fen bilimleri dersi yalnızca bilimsel kavram ve ilkelerin öğrenilmesini değil, aynı zamanda öğrencilerin kanıta dayalı akıl yürütme, bilimsel sorgulama, eleştirel düşünme ve bilimsel açıklamaları değerlendirme becerilerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bir bilimsel açıklamayı doğrudan kabul etmek yerine mevcut bilgileriyle karşılaştırmaları, açıklamanın dayandığı kanıtları sorgulamaları ve gerektiğinde farklı bilgi kaynaklarına başvurmaları beklenmektedir.

Yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgilerin fark edilmesi, öğrencilerin yalnızca konuya ilişkin bilimsel bilgi düzeyleriyle açıklanabilecek bir süreç değildir. Öğrencilerin bilgi kaynağına duydukları güven, yapay zekânın çalışma biçimine ilişkin farkındalıkları, önceki öğrenme deneyimleri ve bilgiyi doğrulamak amacıyla kullandıkları stratejiler de bu süreçte etkili olabilecek unsurlardır. Özellikle bilimsel kavramlara ilişkin ön bilgileri sınırlı olan

öğrencilerin, dilsel açıdan ikna edici biçimde sunulan yanlış açıklamaları doğru kabul etme olasılığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel içeriklerin öğrenciler tarafından nasıl değerlendirildiğinin incelenmesi, fen eğitimi açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

UNESCO (2024) tarafından yayımlanan "AI Competency Framework for Students" başlıklı çerçevede, öğrencilerin yapay zekâ teknolojilerini bilinçli, sorumlu ve eleştirel biçimde kullanabilmelerinin önemi vurgulanmaktadır. Çerçeve, öğrencilerin yapay zekâ sistemlerinin olanaklarını ve sınırlılıklarını anlamalarını, bu sistemlerin çıktılarını eleştirel biçimde değerlendirmelerini ve insan merkezli bir yaklaşım geliştirmelerini öngörmektedir. Bu doğrultuda yapay zekâ okuryazarlığının yalnızca teknolojiyi kullanabilme yeterliğiyle sınırlandırılmaması, üretilen bilgilerin güvenilirliğini değerlendirme ve bilinçli karar verme süreçlerini de kapsaması gerektiği söylenebilir.

Ortaokul dönemi, öğrencilerin bilimsel kavramlara ilişkin bilgi birikimlerinin geliştiği ve bilimsel açıklamaları değerlendirme becerilerinin desteklendiği önemli bir eğitim aşamasıdır. Bu dönemde öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri nasıl anlamlandırdıklarının, yanlış bilgileri hangi gerekçelerle fark ettiklerinin ve değerlendirme süreçlerinde hangi stratejilere başvurduklarının belirlenmesi, fen bilimleri öğretiminde yapay zekânın bilinçli kullanımına yönelik önemli veriler sağlayabilir. Ayrıca öğrencilerin yanlış bilgileri fark edemedikleri durumların ve bu durumların gerekçelerinin ortaya konulması, öğretim süreçlerinde geliştirilmesi gereken becerilerin belirlenmesine katkı sunabilir.

Alanyazında üretken yapay zekâ uygulamalarının eğitimde sunduğu fırsatlar ve oluşturduğu riskler üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Kasneci vd., 2023; Labadze vd., 2023; Lo, 2023). Bununla birlikte, söz konusu çalışmaların bulguları, yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilimsel bilgilerin ortaokul öğrencileri tarafından nasıl fark edildiğinin ve değerlendirildiğinin öğrenci deneyimleri üzerinden ayrıntılı biçimde incelenmesi gereksinimini ortadan kaldırmamaktadır. Özellikle öğrencilerin bilimsel açıdan hatalı açıklamalar karşısında sergiledikleri değerlendirme yaklaşımlarının, kullandıkları doğrulama stratejilerinin ve bilgiye güvenme gerekçelerinin nitel araştırma yöntemleriyle incelenmesinin alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu doğrultuda araştırmada, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerinin derinlemesine incelenmesi amaçlanmaktadır. Araştırma kapsamında öğrencilerin bilimsel açıdan yanlış veya yanıltıcı açıklamaları fark etme durumları, bu açıklamaları değerlendirirken kullandıkları ölçütler, bilgilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla başvurdukları stratejiler ve yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere güvenme ya da güvenmeme gerekçeleri ele alınmıştır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerini incelemektir. Bu genel amaç doğrultusunda öğrencilerin yanlış bilimsel bilgileri belirleme durumlarının, değerlendirme ölçütlerinin, bilgi doğrulama stratejilerinin ve yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere yönelik güven gerekçelerinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

1.2. Araştırmanın Problem Cümlesi ve Alt Problemleri

Bu araştırmanın temel problem cümlesi şu şekilde belirlenmiştir:

"Ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçleri nasıldır?"

Araştırmanın temel problem cümlesi doğrultusunda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranmıştır:
1. Ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme durumları nasıldır?
2. Ortaokul öğrencileri yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirirken hangi ölçütleri kullanmaktadır?
3. Ortaokul öğrencileri yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla hangi stratejilere başvurmaktadır?
4. Ortaokul öğrencilerinin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilere güvenme veya güvenmeme gerekçeleri nelerdir?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Modeli

Bu araştırma, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerini derinlemesine incelemek amacıyla nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde tasarlanmıştır. Araştırmada temel nitel araştırma deseni benimsenmiştir. Temel nitel araştırmalar, bireylerin deneyimlerini nasıl anlamlandırdıklarını, belirli olguları nasıl yorumladıklarını ve bu olgulara ilişkin hangi anlamları oluşturduklarını ortaya koymayı amaçlamaktadır (Merriam & Tisdell, 2016).
Bu araştırmada öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirme biçimlerinin, yanlış bilgileri fark etme durumlarının, bilgi doğrulama stratejilerinin ve yapay zekâ tarafından sunulan bilgilere yönelik güven gerekçelerinin belirlenmesi amaçlandığından temel nitel araştırma deseni tercih edilmiştir. Bu doğrultuda öğrencilerin bilimsel açıdan yanlış veya yanıltıcı açıklamalar karşısında geliştirdikleri değerlendirmeler, gerekçeler ve düşünme süreçleri kendi ifadeleri üzerinden incelenmiştir.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2026–2027 eğitim-öğretim yılı güz döneminde Ankara ilinde bulunan bir devlet ortaokulunun 7. sınıfında öğrenim gören toplam 24 öğrenci oluşturmuştur. Çalışma grubunun belirlenmesinde amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme kullanılmıştır. Ölçüt örnekleme, araştırmanın amacı doğrultusunda önceden belirlenen özellikleri taşıyan bireylerin çalışma grubuna dâhil edilmesine dayanmaktadır (Patton, 2015). Bu araştırmada çalışma grubuna dâhil edilme ölçütleri, öğrencilerin 7. sınıf düzeyinde öğrenim görmeleri, fen bilimleri dersini almaları ve araştırmaya gönüllü olarak katılmaları şeklinde belirlenmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü okulun devlet okulu olması ve aynı sınıf düzeyindeki öğrencilerle çalışılması, öğrencilerin benzer öğretim programı kapsamında edindikleri bilimsel bilgiler üzerinden değerlendirme yapabilmelerine olanak sağlamıştır.
Araştırmaya katılan öğrencilerin kimliklerinin gizli tutulması amacıyla her bir katılımcıya Ö1, Ö2, Ö3, …, Ö24 biçiminde kodlar verilmiştir. Bulguların sunumunda öğrencilerin doğrudan ifadelerine yer verilirken bu kodlar kullanılmıştır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından geliştirilen “Senaryo Temelli Yapay Zekâ Bilgilerini Değerlendirme Formu” kullanılmıştır. Form, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme durumlarını, bilimsel açıklamaları değerlendirme ölçütlerini, bilgi doğrulama stratejilerini ve yapay zekâ tarafından sunulan bilgilere yönelik güven gerekçelerini belirlemek amacıyla hazırlanmıştır. Veri toplama aracının geliştirilmesinde araştırmanın amacı, alt problemleri ve 7. sınıf fen

bilimleri dersi kapsamındaki bilimsel kavramlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda öğrencilerin yaş ve sınıf düzeylerine uygun, günlük yaşamla ilişkilendirilebilen ve bilimsel açıdan değerlendirilebilir açıklamalar içeren senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolarda yapay zekâ tarafından üretilmiş gibi sunulan bilimsel açıklamalara yer verilmiş; bu açıklamaların bir bölümünde bilimsel açıdan yanlış veya yanıltıcı ifadeler kullanılmıştır.

Veri toplama formunda, öğrencilerin yalnızca sunulan açıklamaların doğru veya yanlış olduğuna karar vermeleri değil, aynı zamanda bu kararlarını gerekçelendirmeleri, bilgilerin doğruluğunu nasıl kontrol edebileceklerini açıklamaları ve yapay zekâ tarafından sunulan bilgilere ilişkin güven değerlendirmelerini ifade etmeleri istenmiştir. Böylece öğrencilerin değerlendirme süreçlerinin farklı boyutlardan incelenmesi amaçlanmıştır.

Veri toplama aracında yer alan açık uçlu sorular, araştırmanın dört alt problemiyle ilişkilendirilmiştir. İlk alt probleme yönelik sorular öğrencilerin yanlış bilgileri fark etme durumlarını; ikinci alt probleme yönelik sorular bilimsel açıklamaları değerlendirirken kullandıkları ölçütleri; üçüncü alt probleme yönelik sorular bilgi doğrulama stratejilerini; dördüncü alt probleme yönelik sorular ise yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere güvenme veya güvenmeme gerekçelerini belirlemeye yönelik hazırlanmıştır.

Veri toplama aracının kapsam ve anlaşılırlık açısından değerlendirilmesi amacıyla fen bilimleri eğitimi ve nitel araştırma alanlarında uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Uzman değerlendirmelerinde soruların araştırmanın amacıyla uyumu, bilimsel doğruluğu, öğrencilerin bilişsel gelişim düzeyine uygunluğu ve açık uçlu yanıt üretmeye elverişliliği dikkate alınmıştır.

2.4. Verilerin Toplanması

Araştırmanın verileri, 2026–2027 eğitim-öğretim yılı güz döneminde Ankara ilindeki bir devlet ortaokulunda öğrenim gören 24 yedinci sınıf öğrencisinden toplanmıştır. Veri toplama sürecinde öğrencilere araştırmanın amacı ve uygulamanın genel işleyişi hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Uygulama kapsamında öğrencilere fen bilimleri konularıyla ilişkilendirilmiş senaryolar ve bu senaryolara yönelik açık uçlu sorular sunulmuştur. Öğrencilerden her bir senaryoda yer alan yapay zekâ açıklamalarını dikkatle incelemeleri, bilimsel açıdan doğru veya yanlış buldukları ifadeleri belirlemeleri ve değerlendirmelerinin gerekçelerini yazılı olarak açıklamaları istenmiştir.

Öğrencilerin yanıtlarını bireysel olarak oluşturmalarına özen gösterilmiş ve birbirlerinin değerlendirmelerinden etkilenmemeleri amaçlanmıştır. Veri toplama sürecinde öğrencilerin yalnızca doğru yanıtı belirlemelerine değil, bu yanıta ulaşırken kullandıkları düşünme biçimlerini açıklamalarına da önem verilmiştir. Uygulama sonunda elde edilen yazılı yanıtlar katılımcı kodlarıyla düzenlenerek analiz sürecine hazırlanmıştır.

2.5. Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen nitel verilerin analizinde içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda öğrencilerin yanıtları ayrıntılı biçimde incelenmiş, benzer anlamlar taşıyan ifadeler kodlanmış ve oluşturulan kodlar ortak özellikleri doğrultusunda kategoriler altında bir araya getirilmiştir. Miles, Huberman ve Saldaña (2014), nitel veri analizinde verilerin sistematik biçimde düzenlenmesi, kodlanması, örüntülerin belirlenmesi ve elde edilen bulguların anlamlandırılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu araştırmada içerik analizinin tercih edilmesinin temel nedeni, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirme süreçlerinde ortaya koydukları farklı düşünce, gerekçe ve stratejilerin sistematik biçimde sınıflandırılmasına olanak sağlamasıdır.

Analiz sürecinde öncelikle 24 öğrenciden elde edilen yazılı yanıtlar araştırmacılar tarafından incelenmiş ve araştırmanın dört alt problemi doğrultusunda düzenlenmiştir. Ardından öğrenci ifadeleri anlamlı birimlere ayrılarak kodlanmıştır. Benzer anlamlar taşıyan kodlar bir araya getirilerek kategoriler oluşturulmuştur. Oluşturulan kod ve kategoriler, araştırmanın amacı ve alt problemleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.
Araştırmanın bulguları, her bir alt problem için ayrı başlıklar altında sunulmuştur. Bu kapsamda elde edilen kodların frekans (f) ve yüzde (%) değerleri hesaplanmış ve kategori, kod, frekans ve yüzde bilgilerini içeren tablolar hazırlanmıştır.
Bulguların yorumlanmasında yalnızca frekans ve yüzde değerleriyle yetinilmemiş, öğrencilerin görüşlerini yansıtan doğrudan alıntılara da yer verilmesi benimsenmiştir. Doğrudan alıntılar, katılımcılara verilen Ö1–Ö24 kodları kullanılarak sunulmuştur. Böylece elde edilen kategori ve kodların hangi öğrenci ifadelerine dayandığının gösterilmesi ve bulguların anlaşılabilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.

2.6. Araştırmanın İnandırıcılığı ve Tutarlılığı

Nitel araştırmalarda araştırmanın niteliğinin değerlendirilmesinde inandırıcılık, aktarılabilirlik, tutarlılık ve teyit edilebilirlik ölçütleri önem taşımaktadır (Lincoln & Guba, 1985). Bu araştırmada söz konusu ölçütler doğrultusunda veri toplama ve analiz süreçlerinin açık biçimde tanımlanmasına, elde edilen verilerin sistematik olarak kodlanmasına ve bulguların doğrudan öğrenci ifadeleriyle desteklenmesine önem verilmiştir. Araştırmada kodlama sürecinin tutarlılığını değerlendirmek amacıyla kodlayıcılar arası uyum incelenmiştir. Bu doğrultuda Miles ve Huberman (1994) tarafından önerilen görüş birliği formülünden yararlanılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda kodlayıcılar arası uyum katsayısı 0,92 olarak bulunmuştur. Bu değer, kodlayıcılar arasında yüksek düzeyde görüş birliği bulunduğunu göstermektedir.
Araştırmada aktarılabilirliği desteklemek amacıyla çalışma grubunun özellikleri, araştırma bağlamı, veri toplama aracı ve analiz süreci ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Teyit edilebilirliği desteklemek amacıyla ise oluşturulan kodlar öğrenci yanıtlarıyla ilişkilendirilmiş ve bulgular doğrudan alıntılarla desteklenmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, ortaokul öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerine ilişkin içerik analizi sonuçları dört alt problem doğrultusunda sunulmuştur. Öğrenci yanıtlarından elde edilen kodlar, benzer özelliklerine göre kategoriler altında toplanmış; her kategoriye ilişkin kodların frekans (f) ve yüzde (%) dağılımları tablolar hâlinde gösterilmiştir. Bulguların açıklanmasında öğrenci ifadelerinden doğrudan alıntılara yer verilmiştir.

3.1. Ortaokul Öğrencilerinin Yapay Zekâ Tarafından Üretilen Yanlış Bilgileri Fark Etme Durumlarına İlişkin Bulgular

Araştırmanın birinci alt problemi kapsamında, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilimsel bilgileri fark etme durumları incelenmiştir. Bu doğrultuda öğrencilerin bilimsel hataları belirleme, eksik veya yanıltıcı açıklamaları fark etme, hatalı bilgileri doğru kabul etme ve bilimsel açıklamaların doğruluğu konusunda kararsız kalma durumlarına ilişkin ifadelerine içerik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda oluşturulan kategori ve kodlara ilişkin bulgular Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme durumlarına ilişkin içerik analizi sonuçları

Kategori	Kod	f	%
Yanlış bilgiyi fark etme	Bilimsel hatayı belirleme	5	8,2
	Ön bilgilerle çelişkiyi fark etme	4	6,6
	Kavram yanılgısını belirleme	3	4,9
Eksik veya yanıltıcı bilgiyi fark etme	Eksik açıklamayı belirleme	4	6,6
	Genelleme hatasını fark etme	3	4,9
Yanlış bilgiyi fark edememe	Hatalı açıklamayı doğru kabul etme	17	27,9
	Bilimsel gerekçe oluşturamama	15	24,6
Kararsızlık yaşama	Doğruluktan emin olamama	10	16,4
Toplam		**61**	**100,0**

Tablo 1 incelendiğinde, öğrencilerin yanlış bilgileri fark etme durumlarına ilişkin ifadelerinin dört kategori altında toplandığı görülmektedir. Yanlış bilgiyi fark etme kategorisinde bilimsel hatayı belirleme (f=5; %8,2), ön bilgilerle çelişkiyi fark etme (f=4; %6,6) ve kavram yanılgısını belirleme (f=3; %4,9) kodları yer almıştır. Bu kodların düşük frekanslara sahip olması, öğrencilerin yanlış bilimsel açıklamaları belirlemeye yönelik ifadelerinin sınırlı kaldığını göstermektedir.
Eksik veya yanıltıcı bilgiyi fark etme kategorisinde eksik açıklamayı belirleme (f=4; %6,6) ve genelleme hatasını fark etme (f=3; %4,9) kodları belirlenmiştir. Buna karşılık yanlış bilgiyi fark edememe kategorisinde hatalı açıklamayı doğru kabul etme (f=17; %27,9) ve bilimsel gerekçe oluşturamama (f=15; %24,6) kodları en yüksek frekanslara sahip olmuştur. Kararsızlık yaşama kategorisinde ise doğruluktan emin olamama (f=10; %16,4) kodu ortaya çıkmıştır.

Öğrencilerin ifadelerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmuştur:
Ö3: "Yapay zekâ bütün metallerin mıknatıs tarafından çekildiğini söylemişti. Ama fen dersinde her metalin mıknatıs tarafından çekilmediğini öğrenmiştik. Bu yüzden yanlış olduğunu düşündüm."
Ö11: "Çok ayrıntılı açıkladığı için doğru olduğunu düşündüm. Yanlış bilgi verebileceği aklıma gelmedi."
Ö19: "Açıklamanın doğru mu yanlış mı olduğunu anlayamadım. Çünkü konuyu tam hatırlamıyordum."

3.2. Ortaokul Öğrencilerinin Yapay Zekâ Tarafından Üretilen Bilimsel Bilgileri Değerlendirirken Kullandıkları Ölçütlere İlişkin Bulgular

Araştırmanın ikinci alt problemi kapsamında, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirirken kullandıkları ölçütler incelenmiştir. Öğrencilerin bilimsel tutarlılık, önceki öğrenmeler, açıklamanın niteliği ve yüzeysel özellikler temelinde yaptıkları değerlendirmeler içerik analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen kategori ve kodlara ilişkin bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirmede kullandıkları ölçütlere ilişkin içerik analizi sonuçları

Kategori	Kod	f	%
Bilimsel tutarlılık	Bilimsel bilgilerle uyum	8	15,1
	Neden-sonuç ilişkisi kurma	5	9,4
	Kanıta dayalı açıklama arama	4	7,5
Ön bilgilerle karşılaştırma	Ders kitabındaki bilgilerle karşılaştırma	7	13,2
	Önceki öğrenmelerden yararlanma	6	11,3
Açıklamanın niteliği	Açıklamanın anlaşılır olması	9	17,0
	Örneklerle desteklenmesi	5	9,4
Yüzeysel değerlendirme	Ayrıntılı anlatımı doğruluk göstergesi sayma	6	11,3
	Kesin ifadelerden etkilenme	3	5,7
Toplam		**53**	**100,0**

Tablo 2 incelendiğinde, öğrencilerin bilimsel bilgileri değerlendirmede kullandıkları ölçütlerin dört kategori altında toplandığı görülmektedir. Bilimsel tutarlılık kategorisinde bilimsel bilgilerle uyum (f=8; %15,1), neden-sonuç ilişkisi kurma (f=5; %9,4) ve kanıta dayalı açıklama arama (f=4; %7,5) kodları belirlenmiştir. Bu kategoride bilimsel bilgilerle uyum kodunun diğer kodlara göre daha yüksek frekansa sahip olduğu görülmektedir.
Ön bilgilerle karşılaştırma kategorisinde ders kitabındaki bilgilerle karşılaştırma (f=7; %13,2) ve önceki öğrenmelerden yararlanma (f=6; %11,3) kodları yer almıştır. Açıklamanın niteliği kategorisinde ise açıklamanın anlaşılır olması (f=9; %17,0) en sık tekrarlanan kod olarak ortaya çıkmıştır. Bu kodu örneklerle desteklenmesi (f=5; %9,4) izlemiştir. Yüzeysel değerlendirme kategorisinde ayrıntılı anlatımı doğruluk göstergesi sayma (f=6; %11,3) ve kesin ifadelerden etkilenme (f=3; %5,7) kodları belirlenmiştir. Bu durum, öğrencilerin bilimsel bilgileri değerlendirirken bilimsel doğruluk ölçütlerinin yanı sıra açıklamanın anlaşılır, ayrıntılı ve ikna edici olmasına da önem verebildiklerini göstermektedir.

Öğrencilerin ifadelerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmuştur:
Ö5: "Bir bilginin doğru olması için neden öyle olduğunu açıklaması gerekir. Sadece doğru olduğunu söylemesi bana yeterli gelmez."
Ö14: "Yapay zekânın yazdığı bilgiyi fen kitabımızdaki konuyla karşılaştırırım. Aynıysa doğru olduğunu düşünürüm."
Ö21: "Çok uzun ve ayrıntılı anlatınca doğru olduğunu düşündüm. Çünkü yanlış olsa bu kadar açıklama yapamaz gibi geldi."

3.3. Ortaokul Öğrencilerinin Yapay Zekâ Tarafından Üretilen Bilimsel Bilgilerin Doğruluğunu Kontrol Etme Stratejilerine İlişkin Bulgular

Araştırmanın üçüncü alt problemi kapsamında, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla başvurdukları stratejiler incelenmiştir. Öğrencilerin yazılı ve dijital kaynaklara başvurma, öğretmen veya aile bireylerinden destek alma, bilimsel kanıt arama ve yapay zekâ uygulamalarını yeniden kullanma biçimlerine ilişkin ifadeleri analiz edilmiştir. Elde edilen kategori ve kodlara ilişkin bulgular Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol etme stratejilerine ilişkin içerik analizi sonuçları

Kategori	Kod	f	%
Yazılı ve dijital kaynaklardan doğrulama	Ders kitabına başvurma	12	19,7
	Güvenilir internet kaynaklarını inceleme	9	14,8
	Farklı kaynaklarla karşılaştırma	7	11,5
Sosyal kaynaklardan doğrulama	Fen bilimleri öğretmenine danışma	11	18,0
	Aile bireylerine danışma	4	6,6
Bilimsel kanıt arama	Deney veya gözlem yoluyla kontrol etme	3	4,9
	Bilimsel açıklama ve kanıt araştırma	2	3,3
Yapay zekâ üzerinden yeniden sorgulama	Aynı soruyu yeniden yöneltme	8	13,1
	Farklı yapay zekâ uygulamalarına sorma	5	8,2
Toplam		**61**	**100,0**

Tablo 3 incelendiğinde, öğrencilerin bilgi doğrulama stratejilerinin dört kategori altında toplandığı görülmektedir. Yazılı ve dijital kaynaklardan doğrulama kategorisinde ders kitabına başvurma (f=12; %19,7), güvenilir internet kaynaklarını inceleme (f=9; %14,8) ve farklı kaynaklarla karşılaştırma (f=7; %11,5) kodları belirlenmiştir. Bu kategoride ders kitabına başvurma en yüksek frekansa sahip kod olmuştur. Sosyal kaynaklardan doğrulama kategorisinde fen bilimleri öğretmenine danışma (f=11; %18,0) ve aile bireylerine danışma (f=4; %6,6) kodları yer almıştır. Öğretmene danışma kodunun yüksek frekansa sahip olması, öğrencilerin bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol ederken öğretmenlerini önemli bir başvuru kaynağı olarak gördüklerini göstermektedir.
Bilimsel kanıt arama kategorisinde deney veya gözlem yoluyla kontrol etme (f=3; %4,9) ve bilimsel açıklama ve kanıt araştırma (f=2; %3,3) kodları belirlenmiştir. Bu kodların düşük frekanslara sahip olması, öğrencilerin bilimsel kanıta dayalı doğrulama stratejilerine yönelik ifadelerinin sınırlı kaldığını göstermektedir.
Yapay zekâ üzerinden yeniden sorgulama kategorisinde ise aynı soruyu yeniden yöneltme (f=8; %13,1) ve farklı yapay zekâ uygulamalarına sorma (f=5; %8,2) kodları ortaya çıkmıştır. Bu durum, öğrencilerin bir bölümünün yapay zekâ tarafından üretilen bilgileri doğrulamak amacıyla yine yapay zekâ uygulamalarına başvurmayı düşündüğünü göstermektedir.

Öğrencilerin ifadelerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmuştur:
Ö2: "Önce fen kitabımızdan bakarım. Orada bulamazsam öğretmenime sorarım."
Ö9: "Eğer deney yaparak anlayabileceğim bir şeyse deney yaparım. Ama her konuyu deneyle kontrol edemem."
Ö17: "Aynı soruyu başka bir yapay zekâya sorarım. İkisi de aynı cevabı verirse doğru olabilir diye düşünürüm."

3.4. Ortaokul Öğrencilerinin Yapay Zekâ Tarafından Üretilen Bilimsel Bilgilere Güvenme ve Güvenmeme Gerekçelerine İlişkin Bulgular

Araştırmanın dördüncü alt problemi kapsamında, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen

bilimsel bilgilere güvenme veya güvenmeme gerekçeleri incelenmiştir. Öğrencilerin yapay zekânın bilgi kapasitesine, yanıtların özelliklerine, yanlış bilgi üretme olasılığına ve bilgi doğrulama gereksinimine ilişkin ifadeleri içerik analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen kategori ve kodlara ilişkin bulgular Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilere güvenme ve güvenmeme gerekçelerine ilişkin içerik analizi sonuçları

Kategori	Kod	f	%
Yapay zekâya güvenme	Geniş bilgiye sahip olduğunu düşünme	13	19,4
	Hızlı yanıt vermesini yeterlik göstergesi sayma	10	14,9
	Açıklamaların anlaşılır olmasına güvenme	9	13,4
Yapay zekâya güvenmeme	Yanlış bilgi üretebileceğini düşünme	11	16,4
	Bilgilerin kaynağından emin olamama	7	10,4
	Çelişkili yanıtlarla karşılaşma	5	7,5
Koşullu güven	Bilgi doğrulandığında güvenme	8	11,9
	Öğretmen veya ders kitabıyla uyumluysa güvenme	4	6,0
Toplam		**67**	**100,0**

Tablo 4 incelendiğinde, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilere güvenme ve güvenmeme gerekçelerinin üç kategori altında toplandığı görülmektedir. Yapay zekâya güvenme kategorisinde geniş bilgiye sahip olduğunu düşünme (f=13; %19,4), hızlı yanıt vermesini yeterlik göstergesi sayma (f=10; %14,9) ve açıklamaların anlaşılır olmasına güvenme (f=9; %13,4) kodları belirlenmiştir. Bu kategoride geniş bilgiye sahip olduğunu düşünme en yüksek frekansa sahip kod olmuştur.
Yapay zekâya güvenmeme kategorisinde yanlış bilgi üretebileceğini düşünme (f=11; %16,4), bilgilerin kaynağından emin olamama (f=7; %10,4) ve çelişkili yanıtlarla karşılaşma (f=5; %7,5) kodları ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, öğrencilerin yapay zekâya yönelik güvensizliklerinin özellikle yanlış bilgi üretme olasılığı ve bilgi kaynaklarının belirsizliği üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir.
Koşullu güven kategorisinde bilgi doğrulandığında güvenme (f=8; %11,9) ve öğretmen veya ders kitabıyla uyumluysa güvenme (f=4; %6,0) kodları belirlenmiştir. Bu kodların frekansları, öğrencilerin bir bölümünün yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere güvenmek için ek doğrulama süreçlerini gerekli gördüğünü göstermektedir.

Öğrencilerin ifadelerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmuştur:
Ö6: "Yapay zekânın çok fazla bilgi bildiğini düşünüyorum. Bu yüzden genellikle söylediklerinin doğru olduğunu düşünüyorum."
Ö13: "Yapay zekâ bazen yanlış cevap verebilir. Daha önce aynı soruya farklı cevaplar verdiğini gördüm. Bu yüzden her söylediğine güvenmem."
Ö23: "Yapay zekânın verdiği bilgiyi önce kontrol ederim. Eğer fen kitabımızda da aynı bilgi varsa o zaman güvenirim."

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, ortaokul 7. sınıf öğrencilerinin fen bilimleri bağlamında yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme ve değerlendirme süreçlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın bulguları, öğrencilerin yanlış bilimsel bilgileri fark etme, bilimsel açıklamaları

değerlendirme, bilgi doğrulama stratejilerini kullanma ve yapay zekâ tarafından sunulan bilgilere güvenme süreçlerinde farklı yaklaşımlar sergileyebildiklerini göstermektedir. Özellikle öğrencilerin yanlış bilimsel bilgileri fark etme ve bu bilgileri bilimsel gerekçelerle değerlendirme konusunda güçlük yaşayabildikleri; buna karşılık ders kitaplarına, öğretmenlerine ve farklı bilgi kaynaklarına başvurmayı önemli doğrulama yolları olarak gördükleri belirlenmiştir. Bu durum, yapay zekâ teknolojilerinin fen bilimleri eğitiminde kullanımının yalnızca bilgiye erişim ve öğrenme desteği açısından değil, bilimsel bilginin doğruluğunu sorgulama ve eleştirel değerlendirme becerileri açısından da ele alınması gerektiğini düşündürmektedir.

Araştırmanın ilk alt problemine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilimsel bilgileri fark etme konusunda güçlük yaşayabildikleri görülmektedir. Özellikle hatalı açıklamayı doğru kabul etme (f=17) ve bilimsel gerekçe oluşturamama (f=15) kodlarının yüksek frekanslara sahip olması, öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgileri yeterince sorgulamadan kabul edebildiklerini düşündürmektedir. Buna karşılık bilimsel hatayı belirleme (f=5) ve kavram yanılgısını belirleme (f=3) kodlarının daha düşük frekanslarda ortaya çıkması, öğrencilerin bilimsel açıdan yanlış açıklamaları ayırt etme ve gerekçelendirme süreçlerinde sınırlılıklar yaşayabileceklerine işaret etmektedir. Bu sonuç, üretken yapay zekâ sistemlerinin eğitimde kullanımına ilişkin alanyazında vurgulanan doğruluk ve güvenilirlik sorunlarıyla ilişkilendirilebilir. Yapay zekâ sistemlerinin farklı disiplinlerde değişken doğruluk düzeylerine sahip olduğu ve yanlış bilgi üretiminin eğitim açısından önemli bir sınırlılık oluşturduğu belirtilmektedir (Lo, 2023). Benzer biçimde büyük dil modellerinin eğitimde sunduğu fırsatların yanında yanlış veya yanıltıcı bilgi üretme risklerinin bulunduğu ve bu nedenle öğrencilerin eleştirel düşünme ve bilgi doğrulama becerilerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kasneci vd., 2023). Bu değerlendirmeler, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel açıklamaları doğrudan kabul etmek yerine sorgulamalarının önemini desteklemektedir.

Öğrencilerin bilimsel hataları ve kavram yanılgılarını belirlemeye yönelik ifadelerinin sınırlı kalması, fen bilimleri eğitimi açısından ayrıca değerlendirilmesi gereken bir sonuçtur. Bilimsel açıdan yanlış bir açıklamanın fark edilebilmesi, öğrencilerin yalnızca yapay zekâ teknolojilerine ilişkin farkındalıklarına değil, ilgili bilimsel kavramlara yönelik bilgi ve anlayışlarına da bağlı olabilir. Bu bağlamda öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen açıklamaları değerlendirirken önceki öğrenmelerinden yararlanmaları önemli olmakla birlikte, mevcut bilgilerinin eksik veya hatalı olması durumunda yanlış açıklamaları doğru kabul etmeleri de mümkündür. Yapay zekâ okuryazarlığının bilme ve anlama, kullanma ve uygulama, değerlendirme ve oluşturma ile etik boyutları kapsadığı belirtilmektedir (Ng vd., 2021). Bu yaklaşım doğrultusunda, öğrencilerin yapay zekâ sistemlerini kullanabilmelerinin yanında bu sistemlerin çıktılarını değerlendirme yeterliği kazanmaları da önem taşımaktadır. Dolayısıyla fen bilimleri öğretiminde bilimsel kavramların anlamlı öğrenilmesi ile yapay zekâ tarafından üretilen bilgilerin eleştirel biçimde değerlendirilmesi birbirini tamamlayan süreçler olarak ele alınabilir.

Araştırmanın ikinci alt problemine ilişkin bulgular, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgileri değerlendirirken hem bilimsel hem de yüzeysel ölçütlerden yararlanabildiklerini göstermektedir. Açıklamanın anlaşılır olması (f=9), bilimsel bilgilerle uyum (f=8) ve ders kitabındaki bilgilerle karşılaştırma (f=7) kodlarının öne çıkması, öğrencilerin bilimsel bilgilerin değerlendirilmesinde açıklamanın içeriği kadar sunuluş biçimine de önem verdiklerini göstermektedir. Bununla birlikte kanıta dayalı açıklama arama (f=4) kodunun görece düşük frekansta ortaya çıkması, öğrencilerin bilimsel açıklamaların

dayandığı kanıtları sorgulama konusunda daha sınırlı bir yaklaşım sergileyebileceklerini düşündürmektedir. Büyük dil modellerinin insan tarafından yazılmış metinlere benzer, akıcı ve ikna edici içerikler üretebildiği, ancak bu sistemlerin doğruluk bakımından önemli sınırlılıklar taşıdığı belirtilmektedir (Meyer vd., 2023). Bu durum, yapay zekâ tarafından üretilen bir açıklamanın anlaşılır, ayrıntılı veya ikna edici olmasının bilimsel doğruluğu garanti etmediğini göstermektedir. Araştırmada öğrencilerin açıklamanın anlaşılır olmasını bir değerlendirme ölçütü olarak ifade etmeleri, bilimsel doğruluk ile dilsel açıklık arasındaki ayrımın fen bilimleri öğretiminde özellikle vurgulanması gerektiğine işaret etmektedir.

Öğrencilerin bilimsel bilgileri değerlendirirken önceki öğrenmelerinden ve ders kitaplarından yararlanmaları, bilimsel açıklamaları mevcut bilgi birikimleriyle ilişkilendirdiklerini göstermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte bilimsel bilgilerin değerlendirilmesinde yalnızca ön bilgilerle uyumun yeterli görülmesi, öğrencilerin mevcut kavram yanılgılarını sürdürmelerine neden olabilir. Bu nedenle öğrencilerin bilimsel açıklamaları değerlendirirken yalnızca bilginin tanıdık olup olmadığına değil, bilimsel kanıtlarla desteklenip desteklenmediğine ve açıklamanın bilimsel tutarlılığına da odaklanmaları gerekmektedir. Büyük dil modellerinin eğitim ortamlarına entegrasyonunda eleştirel düşünme, bilgi doğrulama ve insan denetiminin önemli olduğu vurgulanmaktadır (Kasneci vd., 2023). Bu bağlamda araştırmanın ikinci alt problemine ilişkin bulgular, öğrencilerin bilimsel açıklamaları değerlendirme ölçütlerinin daha sistematik ve kanıta dayalı bir yapıya dönüştürülmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Araştırmanın üçüncü alt problemine ilişkin bulgular, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla farklı stratejilere başvurmayı düşündüklerini göstermektedir. Ders kitabına başvurma (f=12), fen bilimleri öğretmenine danışma (f=11) ve güvenilir internet kaynaklarını inceleme (f=9) kodlarının öne çıkması, öğrencilerin bilgi doğrulama süreçlerinde yazılı kaynaklara ve öğretmen rehberliğine önem verdiklerini göstermektedir. Buna karşılık deney veya gözlem yoluyla kontrol etme (f=3) ve bilimsel açıklama ve kanıt araştırma (f=2) kodlarının düşük frekanslara sahip olması, öğrencilerin doğrudan bilimsel kanıta ulaşma ve kanıtları değerlendirme stratejilerini daha sınırlı biçimde ifade ettiklerini düşündürmektedir. Yapay zekâ sohbet robotlarının eğitimde kullanımına ilişkin sistematik alanyazın incelemelerinde, bu teknolojilerin öğrencilere hızlı bilgi ve öğrenme desteği sunabildiği, ancak yanıtların doğruluğu ve güvenilirliği konusunda çeşitli sınırlılıklar taşıdığı belirtilmektedir (Labadze vd., 2023). Benzer biçimde yapay zekâ tarafından üretilen bilgilerin güvenilir kaynaklarla doğrulanmasının önemine dikkat çekilmektedir (Lo, 2023). Bu değerlendirmeler, öğrencilerin bilgi doğrulama süreçlerinde farklı kaynaklardan yararlanmalarının önemli olduğunu, ancak bu kaynakların güvenilirliğini değerlendirme becerisinin de geliştirilmesi gerektiğini desteklemektedir.

Öğrencilerin aynı soruyu yeniden yapay zekâya yöneltme (f=8) ve farklı yapay zekâ uygulamalarına sorma (f=5) stratejilerini ifade etmeleri de dikkat çekici bir bulgudur. Yapay zekâ sistemlerinin benzer yanıtlar üretmesi, söz konusu yanıtların bilimsel açıdan doğru olduğunu tek başına göstermemektedir. Özellikle benzer veri kaynakları ve modelleme yaklaşımlarıyla geliştirilen sistemlerin aynı veya benzer hataları üretebilmesi olasılığı dikkate alındığında, yalnızca farklı yapay zekâ uygulamalarının yanıtlarını karşılaştırmanın yeterli bir doğrulama stratejisi olmadığı söylenebilir. Büyük dil modellerinin eğitimde kullanımında insan denetiminin ve bilgi doğrulama stratejilerinin önem taşıdığı belirtilmektedir (Kasneci vd., 2023). Bu doğrultuda öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilimsel açıklamaları doğrularken ders kitapları, güvenilir bilimsel kaynaklar, öğretmen rehberliği ve uygun durumlarda deneysel kanıtlardan birlikte yararlanmaları önem taşımaktadır. Ayrıca fen

bilimleri derslerinde öğrencilerin bilimsel bilgileri yalnızca hazır kaynaklardan edinmeleri yerine gözlem, deney ve kanıta dayalı akıl yürütme süreçlerine katılmalarının desteklenmesi, yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgileri fark etme becerilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Araştırmanın dördüncü alt problemine ilişkin bulgular, öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilere yönelik güvenlerinin farklı gerekçelere dayanabildiğini göstermektedir. Yapay zekânın geniş bilgiye sahip olduğunu düşünme (f=13), yanlış bilgi üretebileceğini düşünme (f=11) ve hızlı yanıt vermesini yeterlik göstergesi sayma (f=10) kodlarının öne çıkması, öğrencilerin yapay zekâya ilişkin güven değerlendirmelerinde hem teknolojinin sunduğu olanakları hem de olası sınırlılıklarını dikkate alabildiklerini göstermektedir. Bununla birlikte bilgi doğrulandığında güvenme (f=8) ve öğretmen veya ders kitabıyla uyumluysa güvenme (f=4) kodlarının ortaya çıkması, öğrencilerin bir bölümünün yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere koşullu biçimde güvenebildiklerini düşündürmektedir. Büyük dil modellerinin önemli olanaklar sunmakla birlikte doğruluk ve yanlılık bakımından çeşitli sınırlılıklar taşıdığı belirtilmektedir (Meyer vd., 2023). Bu durum, öğrencilerin yapay zekânın bilgi kapasitesini veya yanıt üretme hızını tek başına güvenilirlik göstergesi olarak kabul etmemeleri gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapay zekâ okuryazarlığının değerlendirme boyutunun önemi dikkate alındığında, öğrencilerin yapay zekâ sistemlerinin çıktılarını eleştirel biçimde inceleyebilmeleri temel bir yeterlik olarak değerlendirilebilir (Ng vd., 2021). Bu bağlamda araştırmada ortaya çıkan koşullu güven yaklaşımı, öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgileri bağımsız kaynaklarla doğrulama gereksinimini fark etmeleri açısından önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Öğrencilerin yapay zekâya yönelik güvenme ve güvenmeme gerekçelerinin bir arada bulunması, bu teknolojilere ilişkin değerlendirmelerinin tek boyutlu olmadığını göstermektedir. Öğrenciler bir yandan yapay zekânın hızlı ve kapsamlı bilgi sunmasını olumlu değerlendirebilirken diğer yandan yanlış bilgi üretme olasılığının farkında olabilmektedir. Bu durum, yapay zekâya yönelik güvenin tamamen olumlu veya tamamen olumsuz bir tutum üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini düşündürmektedir. Öğrencilerin yapay zekâ sistemlerinin olanaklarını ve sınırlılıklarını anlamaları, bu teknolojileri eleştirel biçimde değerlendirmeleri ve insan merkezli bir yaklaşım geliştirmeleri, yapay zekâ yeterliklerinin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır (Miao vd., 2024). Dolayısıyla öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilere yönelik güvenlerini, teknolojinin sunduğu kolaylıklardan ziyade bilimsel doğruluk ve güvenilirlik ölçütleri temelinde oluşturmalarının desteklenmesi önem taşımaktadır.

Araştırmanın dört alt problemine ilişkin bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, ortaokul öğrencilerinin yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilimsel bilgileri fark etme, bilimsel açıklamaları değerlendirme, bilgi doğrulama stratejilerini kullanma ve bu bilgilere güvenme süreçlerinin birbiriyle ilişkili ancak farklı boyutlar içerdiği görülmektedir. Öğrencilerin bilimsel hataları ve kavram yanılgılarını belirlemeye yönelik ifadelerinin sınırlı kalması, bilimsel bilgileri değerlendirirken açıklamanın anlaşılabilirliğinden etkilenmeleri, doğrulama süreçlerinde daha çok ders kitaplarına ve öğretmenlerine başvurmaları ve yapay zekâya yönelik güvenlerini farklı gerekçelere dayandırmaları, fen bilimleri eğitiminde yapay zekâ okuryazarlığının çok boyutlu biçimde ele alınması gerektiğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, yapay zekâ teknolojilerinin fen bilimleri öğretiminde etkili biçimde kullanılabilmesi için öğrencilerin yalnızca teknolojik araçları kullanma becerilerinin değil, bilimsel sorgulama, eleştirel düşünme, kanıta dayalı akıl yürütme ve bilgi doğrulama becerilerinin de geliştirilmesinin önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bulgular, yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel bilgilerin öğrenciler tarafından her zaman doğru biçimde değerlendirilemeyebileceğini ve bu süreçte bilimsel bilgi düzeyi, değerlendirme ölçütleri, doğrulama stratejileri ve güven gerekçelerinin birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda fen bilimleri öğretiminde yapay zekâ tarafından üretilen doğru, yanlış ve eksik bilimsel açıklamaların karşılaştırılmasına, öğrencilerin bilimsel hataları gerekçeleriyle belirlemelerine ve bilgilerin doğruluğunu farklı kanıtlar üzerinden değerlendirmelerine olanak sağlayan öğrenme ortamlarının oluşturulması önem taşımaktadır. Bununla birlikte çalışma grubunun Ankara ilindeki tek bir devlet ortaokulunda öğrenim gören 24 yedinci sınıf öğrencisiyle sınırlandırılması, bulguların farklı okul ve sınıf düzeylerine doğrudan genellenmesini sınırlandıracaktır. Ayrıca öğrencilerin yazılı yanıtlarında belirttikleri doğrulama stratejilerinin, bu stratejileri gerçek öğrenme ortamlarında ne ölçüde uyguladıklarını doğrudan göstermeyebileceği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel açıklamaları değerlendirme süreçlerinin gözlem, görüşme ve uygulama temelli veri toplama yöntemleriyle desteklenmesi yararlı olacaktır.

5. ÖNERİLER

Araştırmadan elde edilen bulgular ve ulaşılan sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen hatalı bilimsel açıklamaları doğru kabul etme ve bilimsel gerekçe oluşturamama durumlarının öne çıkması nedeniyle fen bilimleri derslerinde öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgilerin doğruluğunu sorgulamalarını ve değerlendirmelerini sağlayacak etkinliklere yer verilmesi önerilmektedir.
2. Öğrencilerin bilimsel hataları ve kavram yanılgılarını belirlemeye yönelik ifadelerinin sınırlı kalması nedeniyle yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel açıklamalardaki kavramsal hataların belirlenmesine ve bu hataların bilimsel gerekçelerle düzeltilmesine yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir.
3. Öğrencilerin bilimsel bilgileri değerlendirirken açıklamanın anlaşılır ve ayrıntılı olmasını doğruluk ölçütü olarak kullanabildikleri dikkate alınarak, açıklamanın sunuluş biçimi ile bilimsel doğruluğu birbirinden ayırt etmelerini sağlayacak karşılaştırmalı değerlendirme etkinlikleri gerçekleştirilmesi önerilmektedir.
4. Öğrencilerin bilimsel bilgilerin doğruluğunu kontrol ederken ders kitaplarına ve öğretmenlerine başvurmalarına karşılık deney, gözlem ve bilimsel kanıt araştırma stratejilerini daha sınırlı kullanmaları nedeniyle fen bilimleri derslerinde yapay zekâ tarafından üretilen bilimsel iddiaların deneysel kanıtlarla sınanmasına yönelik uygulamalara ağırlık verilmesi önerilmektedir.
5. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen bilgileri doğrulamak amacıyla aynı soruyu yeniden yapay zekâya yöneltme veya farklı yapay zekâ uygulamalarına sorma stratejilerine başvurabildikleri dikkate alınarak, farklı yapay zekâ sistemlerinden elde edilen benzer yanıtların bilimsel doğruluğu garanti etmediğinin öğrencilere örnekler üzerinden gösterilmesi önerilmektedir.
6. Öğrencilerin yapay zekânın geniş bilgiye sahip olmasını ve hızlı yanıt vermesini güvenilirlik gerekçesi olarak değerlendirebildikleri sonucundan hareketle, yapay zekâ tarafından sunulan bilgilere yönelik güvenin yanıtların hızı veya kapsamından ziyade bilimsel doğrulama sonuçlarına dayandırılmasını sağlayacak uygulamalar gerçekleştirilmesi önerilmektedir.
7. Öğrencilerin bir bölümünün yapay zekâ tarafından üretilen bilgilere ancak ders kitabı veya öğretmen tarafından doğrulandığında güvendikleri dikkate alınarak, bu doğrulama yaklaşımının

farklı bilimsel kaynakların güvenilirliğini değerlendirmeyi de kapsayacak biçimde geliştirilmesi önerilmektedir.
8. Öğrencilerin yanlış bilgileri fark etme, bilimsel ölçütlerle değerlendirme ve doğrulama stratejilerini kullanma süreçlerinde ortaya çıkan güçlüklerden hareketle, gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda bu süreçlerin yalnızca yazılı yanıtlarla sınırlı kalmayıp gözlem, görüşme ve uygulama temelli veri toplama yöntemleriyle derinlemesine incelenmesi, farklı okul türleri ve sınıf düzeylerinden daha geniş çalışma gruplarıyla yürütülmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, Article 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Labadze, L., Grigolia, M., & Machaidze, L. (2023). Role of AI chatbots in education: Systematic literature review. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20, Article 56. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00426-1

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. Sage Publications.

Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. Education Sciences, 13(4), Article 410. https://doi.org/10.3390/educsci13040410

Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.). Jossey-Bass.

Meyer, J. G., Urbanowicz, R. J., Martin, P. C. N., O'Connor, K., Li, R., Peng, P.-C., Bright, T. J., Tatonetti, N., Won, K. J., Gonzalez-Hernandez, G., & Moore, J. H. (2023). ChatGPT and large language models in academia: Opportunities and challenges. BioData Mining, 16, Article 20. https://doi.org/10.1186/s13040-023-00339-9

Miao, F., Shiohira, K., & Lao, N. (2024). AI competency framework for students. UNESCO. https://doi.org/10.54675/JKJB9835

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook (2nd ed.). Sage Publications.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (3rd ed.). SAGE Publications.

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2, Article 100041. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041

Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice (4th ed.). SAGE Publications.

LORENZ-JULIA DESENLİ MİKROŞERİT HAT SENSÖRLERİNİN VEKİL MODELLEMESİ İÇİN GEOMETRİK TEMSİLLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatma Seda AYGÜL
Department of Electrical and Electronics Engineering, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay 31200, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-8543-9890
Yakup HAMEŞ
Department of Electrical and Electronics Engineering, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay 31200, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6736-2247
Berker ÇOLAK
Department of Electrical and Electronics Engineering, Sivas Science and Technology University, Sivas 58000, Türkiye
ORCID ID: 0009-0000-6575-4661
Muharrem KARAASLAN
Department of Electrical and Electronics Engineering, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay 31200, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0923-1959

ÖZET

Bakır desenli mikroşerit hat sensörü tasarımlarının tekrarlanan CST analizleri, yeniden kullanılabilir spektral vekil modelleri gerekçelendirir. Bu çalışmada, vekil model destekli tasarım taramasının ileri tahmin aşaması için geometrik temsiller karşılaştırılır. MATLAB-CST benzetim verisi, altı nominal bağıl dielektrik geçirgenlik durumlu 1330 geometri kaydından ve 1–20 GHz aralığındaki 1001 frekansta örneklenmiş 7980 iletim spektrumundan oluşmaktadır. On dokuz model yapılandırması, skaler, doğrudan ikili maske ve maskeden türetilen öznitelik girdilerini 772 benzerlik grubundaki 865 geometride grup temelli üç katlı çapraz doğrulamayla, her geometrinin altı durumu birlikte tutularak karşılaştırır. Altı morfolojik özniteliğe dört geometrik tanımlayıcı eklenen on öznitelikli Extra Trees, en düşük çapraz doğrulama ortalama mutlak hatasını (MAE) 0,6129 dB ile elde etmiş; tanımlayıcıları içermeyen eşleştirilmiş altı öznitelikli Extra Trees'in 0,6411 dB değerine göre azalma %4,39'dur. Bu sonuç yalnızca çapraz doğrulamaya ve tek bir eğitim tohumuna dayanır; tanımlayıcılar birlikte eklenmiştir ve seçim sonrası aralık yalnızca betimleyicidir. Hiçbir model veya eşik seçiminde kullanılmayan 200 geometrilik ayrı bir test, skalerleri de alan maske girdili evrişimli sinir ağını (CNN) sabit skaler Extra Trees ve maskesi sıfırlanmış CNN kontrolleriyle karşılaştırmıştır. Maske girdili CNN, ayrı testte en düşük MAE değerine (0,6803 dB) sahip olmuştur; skaler Extra Trees için MAE 0,7390 dB, maskesi sıfırlanmış CNN için 0,7770 dB'dir ve farklar önceden belirlenmiş bir pratik eşiğe göre değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroşerit Hat Sensörleri, Lorenz-Julia Bakır Desenleri, Geometrik Temsiller, Spektral Vekil Modelleme, Grup Temelli Çapraz Doğrulama

COMPARING GEOMETRIC REPRESENTATIONS FOR SURROGATE MODELING OF LORENZ-JULIA PATTERNED MICROSTRIP LINE SENSORS

ABSTRACT

Repeated CST analyses of copper-patterned microstrip line sensor designs motivate reusable spectral surrogates. This study compares geometric representations for the forward prediction stage of surrogate-assisted design screening. MATLAB-CST simulation data comprise 1330 geometry records with six nominal relative-permittivity states and 7980 transmission spectra sampled at 1001 frequencies from 1 to 20 GHz. Nineteen model configurations compare scalar, direct binary-mask, and mask-derived feature inputs using grouped three-fold cross-validation on 865 geometries in 772 similarity groups, keeping the six states of each geometry together. Extra Trees using six morphological features plus four geometric descriptors (ten-feature Extra Trees) had the lowest cross-validation mean absolute error (MAE), 0.6129 dB, versus 0.6411 dB for the matched six-feature Extra Trees without the descriptors, a 4.39% reduction. This result comes from cross-validation only, with one training seed; the descriptors were added jointly, and the post-selection interval is descriptive. A separate test of 200 geometries, which selected no model or threshold, compared a mask-input convolutional neural network (CNN), which also receives the scalars, with fixed scalar Extra Trees and mask-ablated CNN controls. The mask-input CNN had the lowest separate-test MAE, 0.6803 dB, versus 0.7390 dB for scalar Extra Trees and 0.7770 dB for the mask-ablated CNN; these differences were assessed against a prespecified practical threshold.

Keywords: Microstrip Line Sensors, Lorenz-Julia Copper Patterns, Geometric Representations, Spectral Surrogate Modeling, Grouped Cross-Validation

1. INTRODUCTION

Microstrip line sensor design relates patterned copper geometry and dielectric loading to transmission spectra. Microstrip lines loaded with complementary split-ring resonators detect dielectric samples through permittivity-dependent shifts of their transmission resonance (Boybay & Ramahi, 2012; Ebrahimi et al., 2014). Layout-based models connect geometry and substrate variables to scattering responses (Qi & Sarris, 2022). Lorenz-Julia generation, a chaotic-map pattern generator (Section 2.1), creates many candidates. Costly electromagnetic simulations motivate reusable surrogates (Koziel et al., 2023; Sahu et al., 2025) that predict electromagnetic responses from geometry inputs (Liu et al., 2022; Nguyen et al., 2021). Such surrogates would screen candidates before full-wave verification, consistent with spectral-model design search (Garbuglia et al., 2023).

Prior microwave surrogates use scalar parameters (Nguyen et al., 2021) or frequency-dependent geometry inputs (Zhou et al., 2025); other paths use circuit-informed responses (Liu et al., 2022) or direct layouts (Qi & Sarris, 2022). Confined-domain recurrent models exploit frequency relationships (Sahu et al., 2025), and transfer learning reuses convolutional knowledge across frequencies and layout sizes (Ma et al., 2023). Image-based studies control similarity by keeping augmented copies in the same split (Sjödin et al., 2025) or by discarding near-duplicate layouts during dataset construction (Wei et al., 2026). Outside microwave engineering, convolutional and recurrent networks also predict spectra directly from binary structure images (Sajedian et al., 2019). Isolating representation effects requires holding the learner fixed. Low mean spectral error can conceal amplitude and notch errors, so response-specific assessment is needed (Pietrenko-Dabrowska et al., 2023; Wei et al., 2026). These studies motivate comparing scalars, direct masks, and mask-derived features under shared evaluation.

The study addresses the forward prediction stage, rather than the sensing function (the resonance shift between adjacent permittivity states), on the generated simulation data. This work contributes (i) a Lorenz-Julia mask-to-copper and MATLAB-CST simulation-data workflow for patterned microstrip line sensors, (ii) a comparison of scalar, direct-mask, and feature representations across 19 model configurations using the same grouped cross-validation folds, (iii) a matched-learner evaluation of four geometric descriptors, and (iv) a separate-test comparison of a mask-input convolutional neural network with fixed scalar and mask-ablated controls, using aggregate spectral error and a notch-location diagnostic.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Simulation data and sensor layout

The MATLAB-CST generator defines a two-port microstrip line sensor with a square split-ring resonator (SSRR) on FR-4 (Figure 1). Lorenz-Julia copper occupies a 16 × 16 mm central square, with 0.50 mm clearance inside the ring. A 3 mm variable-permittivity dielectric covers this square above the pattern; a continuous ground plane lies below the substrate. Figure 1 depicts script coordinates, rather than independently verified executed CAD.

Euler updates with step 0.01 from (1,1,1) integrate the Lorenz dynamics $dX/dt = \sigma(Y-X)$, $dY/dt = X(\rho-Z)-Y$, and $dZ/dt = XY-\beta Z$; the resulting normalized X/Y sequences define a complex grid for Julia iteration $z \leftarrow z^2 + (0.285 + 0.01i)$. Escape counts undergo Gaussian smoothing, binarization, and small-region removal to form a 256 × 256 mask, whose contiguous foreground pixels are tiled into rectangular CST copper regions. The script contains a numerical largest-Lyapunov-exponent filter before mask construction. This is simulated layout generation, without physical etching or prototype fabrication.

One mask is reused for six nominal relative-permittivity states ε = 1.90, 2.05, 2.20, 2.35, 2.50, and 2.70. Learning uses S21 magnitude in dB at 1001 frequencies from 1 to 20 GHz. Inputs comprise the mask and four scalars (σ, ρ, β, ε), used according to each configuration; source names, filenames, ordering, and partition IDs are excluded from inputs. The simulation data contain 1330 geometries, 1188 similarity groups (Section 2.3), and 7980 spectra. The training and validation set (TVS) contains 865 geometries in 772 groups (5190 spectra); the separate test contains 200 geometries in 178 groups (1200 spectra). Other partitions and the unpatterned reference simulations do not enter training or this comparison. These are verified record counts, rather than script-comment generation targets.

2.2. Surrogate models and mask descriptors

The per-permittivity mean baseline returns the group-weighted training spectrum conditional on nominal ε. Ridge regression and scalar Extra Trees predict target principal component analysis (PCA) coefficients from four scalars, then reconstruct 1001 spectral points. The six-feature Extra Trees predicts directly from these scalars plus six morphological features, and the ten-feature Extra Trees adds four geometric descriptors. A scalar multilayer perceptron (MLP), a mask-input convolutional neural network (CNN) that also receives the scalars, and a mask-ablated CNN predict directly. Matched pairs (ten- and six-feature Extra Trees; mask-input and mask-ablated CNNs) hold the learner and training recipe fixed and differ only in inputs.

Foreground $M_{ij} = 1$ for mask values >0.5; A is its pixel count. Coordinates $x_j = 2j/255 - 1$ and $y_i = 2i/255 - 1$ use i,j = 0–255. Table 1 defines six morphological features and four jointly added geometric descriptors. Nr/Nc count occupied rows/columns; $Abbox=(j_{max}-j_{min}+1)(i_{max}-i_{min}+1)$ is the foreground bounding-box area. Rx/Ry count foreground at each row/column start plus subsequent 0→1 transitions. Moments capture spread even at equal area/centroid; runs describe image fragmentation, not electrical contacts or currents. The four added descriptors were selected exploratorily as one descriptor package; no individual-

feature ablation was performed.

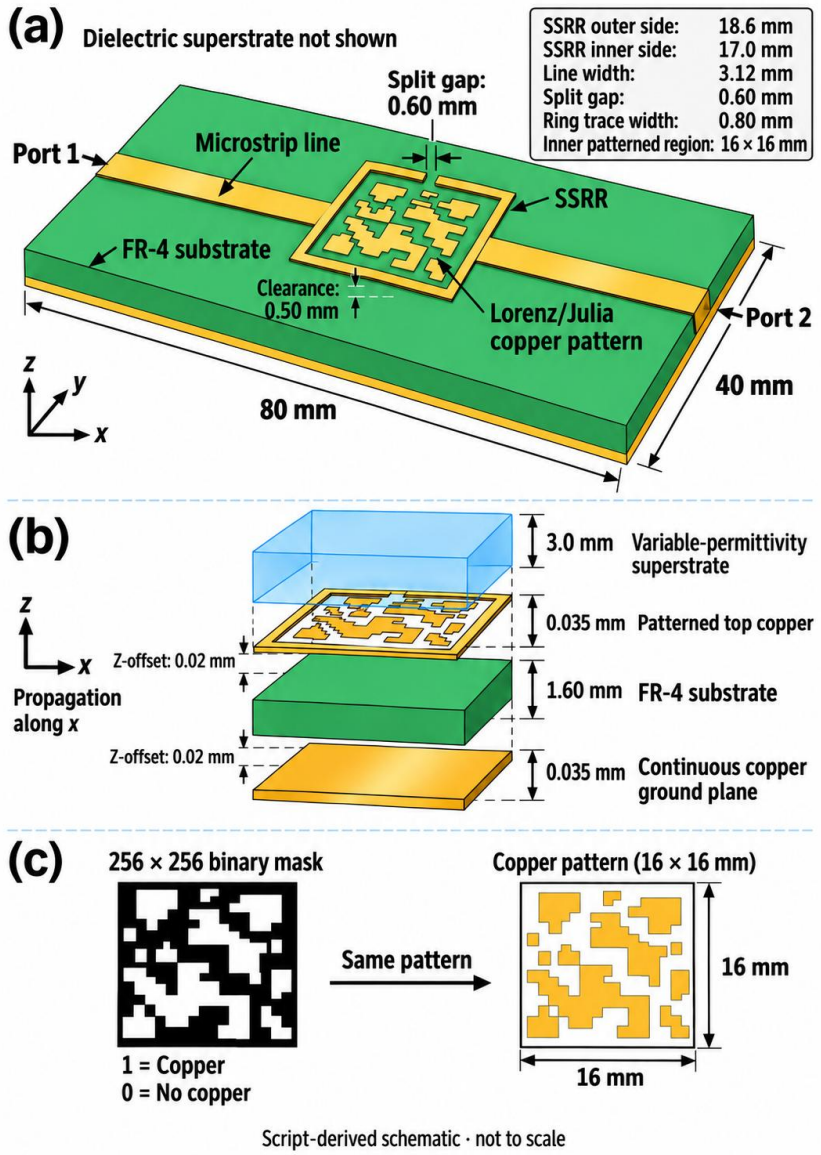


Figure 1. Script-defined microstrip line sensor: (a) top copper layout, (b) exploded layer stack, and (c) binary-mask-to-copper mapping. The upper dielectric, omitted in (a), covers the 16 × 16 mm square. Arrows mark simulation ports; z-offset labels are script coordinates. The square split-ring resonator (SSRR) schematic is not to scale.

Table 1. Mask features: first six morphological, last four geometric.

Feature	Definition
Foreground area ratio	A/65536
Foreground per occupied row	A/Nr
Foreground per occupied column	A/Nc
Bounding-box occupancy	A/Abbox
Horizontal centroid	Mean foreground x, $\bar{x}$
Vertical centroid	Mean foreground y, $\bar{y}$
Horizontal second moment	Mean foreground $x^2 - \bar{x}^2$; clipped to [0,1]
Vertical second moment	Mean foreground $y^2 - \bar{y}^2$; clipped to [0,1]
Horizontal run ratio	Rx/32768
Vertical run ratio	Ry/32768

Note. All are dimensionless except A/Nr and A/Nc (pixels per occupied row or column); x and y are the normalized coordinates defined above.

Extra Trees uses 200 trees; the ten- and six-feature Extra Trees share leaf count 1 and seed 17, directly predicting 1001 outputs with group weights. Table 2 gives other leaf counts and ridge penalties. Target PCA uses weighted centering without whitening; of 8, 16, 32, 64, and 128 components, 64 and 128 met the reconstruction criteria. Only completed eligible configurations appear in Table 2. The twelve low-dimensional settings and two inactive direct-output fallbacks were untrained and excluded from these results.

The mask-input CNN combines a mask branch of four residual blocks (16, 32, 64, and 128 output channels) with a 4→32→32 scalar branch and maps the 160 combined values through a 256-unit layer to 1001 linear outputs. The mask-ablated CNN zeroes the mask immediately before the first layer. The scalar MLP has a 4→64→64→1001 structure. All scalers, target statistics, PCA bases, and model parameters are fitted on the training subset of each cross-validation round only. For a group c with n(c) geometries, each state-record training weight is proportional to 1/(6 n(c)) and normalized to mean 1. The scalar MLP and both CNNs use weighted mean squared error (MSE) with batches of 48 records. AdamW weight decay is zero; learning rates are 0.003 for the CNNs and 0.001 for the scalar MLP. Training uses seed 17 for 30 or 60 epochs without validation-based early stopping; SmoothL1 changes only the 30-epoch CNN loss.

2.3. Evaluation protocol

Input-only grouping (the primary rule) connects masks when normalized Hamming distance $H \leq 0.02$ or foreground intersection over union (IoU) ≥ 0.85. Each connected component and each geometry's six states stay in one partition. Within TVS, each component also stays in one of three group-disjoint cross-validation (CV) folds; shared ε labels across different geometries do not violate this separation. Folds fixed before target access contain 288, 289, and 288 geometries and 252, 269, and 251 groups. All 19 configurations predict all 5190 TVS spectra using the same folds, with two folds for training and one for validation. TVS selects models; the separate test selects no model or threshold.

The fixed separate test covers only the 30-epoch mask-input CNN, its matched mask-ablated CNN control, and scalar Extra Trees with 64 target PCA components and minimum leaf count 4, all retrained on the 865 TVS geometries. No test inputs or targets enter these fits. The ten-feature Extra Trees and SmoothL1 CNNs (Section 2.5) were developed on TVS after this single-use test was run. Within-family selection minimizes group-weighted mean absolute error (MAE); CNN schedules are selected on TVS, and mask-ablated controls retain the matched

recipe. The ten- and six-feature Extra Trees retain mask information and are therefore excluded from scalar-control selection, which chooses the scalar-input control for the separate test.

MAE averages absolute error over frequencies, six states, geometries within groups, then groups equally. Root mean squared error (RMSE) first roots each state's frequency-mean squared error, then follows the same hierarchy. Differences use 2000 paired-group bootstrap resamples (seed 20260924) with 95% percentile confidence intervals (CI). CV intervals after selection are descriptive. Practical improvement requires both CNN-minus-control upper CI endpoints $< -10.00\%$ of the respective control's CV MAE, so the two comparisons must pass jointly; these are prediction thresholds, not device tolerances.

Notches use an 11-point centered moving average with five-point end reflection. Flat minima use the middle (lower middle if even); prominence is the smaller left/right maximum within ±0.5 GHz minus the minimum. Eligible minima have prominence ≥1 dB and edge distance ≥0.1 GHz; selection takes greatest prominence, then lower frequency. True/predicted notches match within 0.10 GHz; this diagnoses spectral location, not resonance identity.

2.4. Cross-validation and separate-test results

Table 2. Group-weighted three-fold cross-validation (CV) mean absolute error (MAE) and root mean squared error (RMSE).

Model	Inputs	Settings	MAE (dB)	RMSE (dB)
Extra Trees	Scalars + 10 features	L1	0.6129	1.0077
Extra Trees	Scalars + 6 features	L1	0.6411	1.0462
Extra Trees	Scalars + 6 features	L4	0.6433	1.0411
CNN	Scalars + mask	MSE/30E	0.6865	1.0882
CNN	Scalars + mask	SmoothL1/30E	0.6985	1.1049
CNN	Scalars + mask	MSE/60E	0.7197	1.1386
Extra Trees (PCA)	Scalars	K64/L4	0.7738	1.2233
Extra Trees (PCA)	Scalars	K128/L4	0.7740	1.2235
CNN, mask zeroed	Scalars	MSE/30E	0.7998	1.2440
MLP	Scalars	MSE/60E	0.8047	1.2518
Ridge regression (PCA)	Scalars	K128/α10	0.8075	1.2641
Ridge regression (PCA)	Scalars	K64/α10	0.8075	1.2641
Ridge regression (PCA)	Scalars	K128/α1	0.8076	1.2641
Ridge regression (PCA)	Scalars	K64/α1	0.8076	1.2641
MLP	Scalars	MSE/30E	0.8120	1.2586
Per-ε mean	Nominal ε	—	0.8315	1.2920
Extra Trees (PCA)	Scalars	K64/L1	0.8440	1.3382
Extra Trees (PCA)	Scalars	K128/L1	0.8444	1.3385
CNN, mask zeroed	Scalars	SmoothL1/30E	0.8664	1.3123

Note. Scalars = σ, ρ, β, ε; features = mask features (Table 1); (PCA) = predicts target principal component analysis coefficients; CNN = convolutional neural network; MLP = multilayer perceptron; mask zeroed = mask-ablated CNN; Per-ε mean = per-permittivity mean baseline. L

= minimum leaf count, K = components, α = ridge penalty, E = epochs; MSE = mean squared error; — = none. Recipes are in Section 2.2. Equal rounded ridge errors do not establish superiority.

The ten-feature Extra Trees had the lowest CV MAE/RMSE, 0.6129/1.0077 dB (Table 2). By input family, the lowest CV MAE was 0.6129 dB for feature inputs (ten-feature Extra Trees), 0.6865 dB for mask-and-scalar inputs (mask-input CNN), and 0.7738 dB for scalar inputs (scalar Extra Trees); 0.6129 dB is about 26% below the 0.8315 dB of the per-permittivity mean, which uses nominal ε only. Adding four descriptors jointly to the matched six-feature Extra Trees learner lowered MAE from 0.6411 to 0.6129 dB: −0.0282 dB (4.39%, from unrounded MAEs), with a descriptive post-selection 95% interval [−0.0327, −0.0239] dB. The −10.00% practical threshold is defined only for the separate-test CNN comparisons, whereas the descriptor package was selected exploratorily and its interval is descriptive. Joint addition identifies neither individual-feature effects nor an electromagnetic mechanism; cross-family rankings also change learner and target representation.

Thirty-epoch SmoothL1 training gave CV MAE 0.6985 dB versus 0.6865 dB for MSE, and sixty-epoch MSE training raised MAE to 0.7197 dB; neither change improved CV error. All three fixed models produced finite predictions on 200 geometries and 1200 spectra; the mask-input CNN's MAE, 0.6803 dB, was lower than scalar Extra Trees (0.7390) and the mask-ablated CNN (0.7770; Table 3). Mask ablation holds architecture and training fixed; the comparison with scalar Extra Trees changes inputs, learner, and target representation (Section 2.5). Both paired intervals lie below zero, but neither upper endpoint meets its negative practical threshold (Table 3). The joint decision on unrounded values therefore did not establish practical improvement.

Table 3. Separate-test group-weighted mean absolute error (MAE) and root mean squared error (RMSE), and mask-input CNN minus control: MAE difference Δ, paired-group 95% confidence interval (CI), and practical threshold τ (dB).

Model	MAE (dB)	RMSE (dB)	Δ (dB)	95% CI (dB)	τ (dB)
Mask-input CNN	0.6803	1.0870	—	—	—
Mask-ablated CNN	0.7770	1.2070	−0.0967	[−0.1251, −0.0708]	−0.0800
Scalar Extra Trees	0.7390	1.1781	−0.0587	[−0.0886, −0.0315]	−0.0774

Note. Models and settings as in Table 2; CNNs use MSE/30E, scalar Extra Trees uses K64/L4. 178 groups; intervals use 2000 paired-group bootstrap resamples (seed 20260924). τ = −10.00% of the control's CV MAE, Table 2. — = reference model.

All 1200 true and predicted curves per model had an eligible notch. In band-wide notch matching within 0.10 GHz (Section 2.3), the mask-input CNN had the most notch mismatches (87 of 1200 curves), versus 85 for the mask-ablated CNN and 79 for scalar Extra Trees. These are curve counts, not independent geometries; the matching diagnoses spectral location, not resonance identity. The mask-input CNN's lower mean error did not establish consistent local superiority.

2.5. Discussion and limitations

This study evaluates prediction, not a completed design search; CST generation, training, inference, and search acceleration have no common timing benchmark. The error level needed for candidate screening was not evaluated in this study. Gaussian-process/kriging surrogates were not evaluated in this study.

Feature evidence is conditional on grouped CV and one training seed; post-selection intervals are descriptive. The ten-feature Extra Trees and SmoothL1 CNNs have CV evidence only; their

separate-test performance is unknown. An Extra Trees model with scalar inputs and direct 1001-point targets, rather than PCA coefficients, was not included in this comparison, so the scalar-versus-feature gap is not a matched comparison. The cross-family ranking is conditional on the CNN recipe and on the data scale of 5190 TVS spectra and is not evidence that direct masks are uninformative. As described in Section 2.1, σ, ρ, and β determine each mask through the deterministic Lorenz-Julia generator, and ε is the only physical scalar, so the scalar, mask, and feature representations encode the same generator inputs in different forms. The ranking was obtained with one Julia constant and one SSRR geometry, from a generated population of 1330 geometries in 1188 similarity groups; its transfer to other layout families, data scales, or mask resolutions was not evaluated in this study.

Primary-rule separation holds, but $H \leq 0.03$ or $IoU \geq 0.80$ yields 181 pairwise cross-partition links, not independent samples or estimated bias. Two records whose responses were examined in earlier analyses remain in TVS. Incomplete prior-access, software-environment, partition-version, and training/model-file records limit separation and exact reproduction. The data come from two sources, covering $\sigma = 5–7$ and $\sigma = 10–11$, so source and σ effects are confounded. Results establish neither fabricated-device performance, physical sensor sensitivity, nor resonance-mode identity.

3. CONCLUSION

The study evaluates geometric representations for forward spectral surrogates of Lorenz-Julia patterned microstrip line sensors. Across 19 grouped cross-validation configurations, the ten-feature Extra Trees had MAE 0.6129 dB; four descriptors jointly reduced MAE by 0.0282 dB relative to the six-feature Extra Trees, a cross-validation-only result with one training seed. The separate-test mask-input CNN's lower mean error did not establish the required practical or consistent local advantage. The sensing function, the resonance shift between adjacent permittivity states, was not evaluated in this study. The workflow is intended to support candidate screening that could reduce reliance on repeated CST solves within the studied input domain. Design-search performance and runtime acceleration remain to be evaluated.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under project number 123F245. This study is derived from the master's thesis entitled "Deep Learning Based Rapid Design and Analysis of Microwave Sensors" by Fatma Seda AYGÜL, prepared under the supervision of Prof. Dr. Yakup HAMEŞ and the co-supervision of Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN.

REFERENCES

Boybay, M. S., & Ramahi, O. M. (2012). Material characterization using complementary split-ring resonators. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *61*(11), 3039–3046. https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2203450

Ebrahimi, A., Withayachumnankul, W., Al-Sarawi, S., & Abbott, D. (2014). High-sensitivity metamaterial-inspired sensor for microfluidic dielectric characterization. *IEEE Sensors Journal*, *14*(5), 1345–1351. https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2295312

Garbuglia, F., Spina, D., Deschrijver, D., Couckuyt, I., & Dhaene, T. (2023). Bayesian optimization for microwave devices using deep GP spectral surrogate models. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *71*(6), 2311–2318. https://doi.org/10.1109/TMTT.2022.3228951

Koziel, S., Pietrenko-Dabrowska, A., & Ullah, U. (2023). Reduced-cost microwave modeling using constrained domains and dimensionality reduction. *Scientific Reports*, *13*(1), Article 18509. https://doi.org/10.1038/s41598-023-45890-x

Liu, W., Feng, F., Zhuo, Y., Zhang, J., Lin, Q., Ma, K., & Zhang, Q.-J. (2022). Electromagnetic parametric modeling using combined neural networks and RLGC-based eigenfunctions for two-port microstrip structures. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *70*(11), 4666–4682. https://doi.org/10.1109/TMTT.2022.3208913

Ma, J., Dang, S., Li, P., Watkins, G., Morris, K., & Beach, M. (2023). Transfer learning for the behavior prediction of microwave structures. *IEEE Microwave and Wireless Technology Letters*, *33*(2), 126–129. https://doi.org/10.1109/LMWC.2022.3214467

Nguyen, T., Shi, B., Ma, H., Li, E.-P., Chen, X., Cangellaris, A. C., & Schutt-Aine, J. (2021). Comparative study of surrogate modeling methods for signal integrity and microwave circuit applications. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, *11*(9), 1369–1379. https://doi.org/10.1109/TCPMT.2021.3098666

Pietrenko-Dabrowska, A., Koziel, S., & Zhang, Q.-J. (2023). Cost-efficient two-level modeling of microwave passives using feature-based surrogates and domain confinement. *Electronics*, *12*(17), Article 3560. https://doi.org/10.3390/electronics12173560

Qi, S., & Sarris, C. D. (2022). Deep neural networks for rapid simulation of planar microwave circuits based on their layouts. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *70*(11), 4805–4815. https://doi.org/10.1109/TMTT.2022.3210229

Sahu, K. C., Koziel, S., & Pietrenko-Dabrowska, A. (2025). Surrogate modeling of passive microwave circuits using recurrent neural networks and domain confinement. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 13322. https://doi.org/10.1038/s41598-025-91643-3

Sajedian, I., Kim, J., & Rho, J. (2019). Finding the optical properties of plasmonic structures by image processing using a combination of convolutional neural networks and recurrent neural networks. *Microsystems & Nanoengineering*, *5*(1), Article 27. https://doi.org/10.1038/s41378-019-0069-y

Sjödin, M., Talcoth, O., Chang, H., Zhou, H., & Andersson, K. (2025). Comparison of circuit models for ML-assisted microwave circuit design. *IEEE Journal of Microwaves*, *5*(6), 1358–1369. https://doi.org/10.1109/JMW.2025.3610923

Wei, Z., Peng, C., Wen, P., He, Y., & Xu, K.-D. (2026). Inverse design of pixelated differential bandpass filters using a proximal policy optimization framework assisted by a convolutional neural network surrogate model. *Electronics*, *15*(16), Article 3535. https://doi.org/10.3390/electronics15163535

Zhou, Z., Wei, Z., Ren, J., Yin, Y., Wang, Y., & Chan, T.-T. (2025). A unified frequency-wise electromagnetic modeling framework with improved generalizability and scalability. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *73*(12), 10281–10299. https://doi.org/10.1109/TMTT.2025.3606638

SAE 1040 AŞIK YÜZÜĞÜNÜN PEEK CF30 İLE DEĞİŞTİRİLMESİNİN MEKANİK VE MONTAJ PERFORMANSI AÇISINDAN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Aykut ÇALIŞKAN
SIO Automotive, Ergene-Tekirdağ,TÜRKİYE,
ORCID ID: 0009-0003-2818-4729
Elçin KAHRAMAN UMAN
SIO Automotive, Ergene-Tekirdağ,TÜRKİYE
ORCID ID: 0009-0001-0251-3008

ÖZET
Bu çalışmada, otomotiv rot başı bağlantısında kullanılan SAE 1040 malzemeden üretilmiş aşık yüzüğünün PEEK CF30 malzemesi ile değiştirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel program kapsamında malzemelere çekme testleri, montajı yapılmış bileşen üzerinde aşık yüzüğü sıyrılma testi ve 120 Nm sıkma torkunda gerçekleştirilen montaj testi uygulanmıştır.

Çekme testleri sonucunda SAE 1040 malzemesi için ortalama çekme dayanımı 442,7 N/mm², ortalama akma dayanımı 283,281 N/mm² ve kopma anındaki ortalama uzama %26,406 olarak belirlenmiştir. PEEK malzemesi için ise karşılık gelen değerler sırasıyla 78,5 N/mm², 59,230 N/mm² ve %0,993 olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlar, ham malzeme düzeyinde SAE 1040'ün PEEK'e kıyasla önemli ölçüde daha yüksek mekanik dayanım sergilediğini göstermektedir. Buna karşılık, rot başına monte edilmiş aşık yüzüğü üzerinde gerçekleştirilen sıyrılma testinde, PEEK CF30 aşık yüzüğü maksimum 14.714,69 N sıyrılma kuvvetine ulaşırken, OE (orijinal ekipman) aşık yüzüğü maksimum 5.331,63 N kuvvet göstermiştir. OE aşık yüzüğü 1040 çeliğinden üretilmiştir. PEEK CF30 bileşeninin sıyrılma kuvveti, OE aşık yüzüğünün yaklaşık 2,76 katı olup %176'lık bir artışa karşılık gelmektedir.

Bu bulgular, aşık yüzüğü gibi bağlantı bileşenlerinin işlevsel performansının yalnızca ham malzemenin mekanik özelliklerine değil, aynı zamanda bileşen geometrisine, temas koşullarına, yük aktarım mekanizmalarına ve montaj koşullarına da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca, PEEK CF30 aşık yüzüğü, 120 Nm sıkma torkunda gerçekleştirilen montaj sonrasında monte edilmiş durumunda incelenmiş ve montaj sonrası fiziksel durumu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, PEEK CF30'ün mevcut 1040 malzemesine alternatif olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, hedeflenen uygulama için uygunluğunun kesin olarak doğrulanabilmesi amacıyla çevrimsel yükleme, sıcaklık, sürtünme, titreşim ve araç dayanıklılık testleri ile daha ileri doğrulama çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: PEEK CF30, SAE 1040, Aşık Yüzüğü, Rot Başı, Otomotiv, Mühendislik Plastiği

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND ASSEMBLY PERFORMANCE OF REPLACING THE SAE 1040 BALL PIN RING WITH PEEK CF30

ABSTRACT

In this study, the replacement of the SAE 1040 ballpin ring component used in an automotive tie rod end connection with PEEK CF30 was experimentally investigated. The experimental programme included tensile tests on the materials, a ballpin ring pull-out test on the assembled component, and an assembly test conducted at a tightening torque of 120 Nm. The tensile tests yielded an average tensile strength of 442.7 N/mm², an average yield strength of 283.281 N/mm², and average elongation at break of 26.406% for SAE 1040. For PEEK, the corresponding values were measured as 78.5 N/mm², 59.230 N/mm², and 0.993%, respectively.

These results indicate that SAE 1040 exhibits considerably higher mechanical strength than PEEK at the raw material level. In contrast, during the pull-out test of the ballpin ring assembled on the tie rod end, the PEEK CF30 ring exhibited a maximum pull-out force of 14,714.69 N, whereas the OE ball pin ring exhibited a maximum force of 5,331.63 N. The OE ball pin ring was manufactured from1040 steel. The pull-out force of the PEEK CF30 component was approximately 2.76 times that of the OE ring, representing an increase of 176%. These findings demonstrate that the functional performance of connection components such as ballpin rings is governed not only the mechanical properties of the raw material but also by component geometry, contact conditions, load-transfer mechanisms, and assembly conditions. In addition, the PEEK CF30 ballpin ring was examined in its assembled condition after tightening to a torque of 120 Nm, and its physical condition after assembly was evaluated. The findings indicate that PEEK CF30 has the potential to serve as an alternative to the existing 1040 material.

However, further validation through cyclic loading, temperature, friction, vibration, and vehicle durability tests is required before its suitability for the intended application can be confirmed.
Keywords: PEEK CF30, SAE 1040, ballpin ring, tie rod end, automotive, engineering plastic.

1. INTRODUCTION

In the automotive industry, weight reduction of com-ponents, improvement of corrosion resistance, develop-ment of manufacturing processes, and the use of high-performance materials are among the important areas of focus. In this context, high-performance thermoplastics are being considered as alternatives to metallic materials in applications with specific mechanical requirements.

PEEK (Polyether Ether Ketone) is an important high-performance engineering thermoplastic due to its high-temperature resistance, chemical resistance, and low mois-ture absorption [1-3]. In particular, various studies have demonstrated that carbon-fiber-reinforced PEEK can pro-vide improved mechanical stiffness, load-carrying capaci-ty, and wear resistance [3,4, 7–9].

However, the mechanical properties of PEEK can vary depending on several parameters, such as carbon fiber content, manufacturing method, temperature, and loading direction [8–11]. Therefore, when evaluating the perfor-mance of a specific component, it is important to validate its behavior through testing on the actual component ra-ther than relying solely on catalog or

literature data.

In this study, the replacement of the existing SAE 1040 steel ball pin ring with a PEEK CF30 ball pin ring was ex-perimentally investigated. First, the tensile properties of both materials were evaluated. Subsequently, the pull-out forces of the ball pin rings mounted on a tie rod end were compared. The behavior of the PEEK CF30 ball pin ring after assembly at a torque of 120 Nm was also investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials Used

In the current product application, a ball pin ring made of SAE 1040 steel is used. As an alternative solution, carbon-fiber-reinforced PEEK was evaluated.

Carbon fiber reinforcement of PEEK is a widely used approach, particularly for improving its mechanical stiffness and load-bearing properties [2,4–7].

2.2. Tensile Test Specimens

Tensile test specimens with a diameter of 6.5 mm were prepared from SAE 1040 and PEEK materials.

The cross-sectional area of the specimens was calculated using the following equation:

$A = \pi d^2/4$

For a specimen diameter of 6.5 mm, the cross-sectional area was calculated as:

$A = 33.18\ mm^2$

Two specimens were tested for each material.

2.3. Ball Pin Ring Pull-Out Test

To determine the performance of the ball pin rings, pull-out tests were conducted on ball pin rings made of SAE 1040 and PEEK CF30 materials.

During the test, the maximum force required to separate the ball pin ring from the ball pin connection area was measured

2.4. 120 Nm Assembly Test

The PEEK CF30 ball pin ring was assembled onto the tie rod end.

A knuckle fixture was used to represent the mating connection geometry of the vehicle assembly. The nut was tightened using a torque wrench up to an assembly torque of 120 Nm. Subsequently, the knuckle fixture was removed, and the post-assembly condition of the PEEK CF30 ball pin ring was examined.

This test was not intended as a long-term durability test. Rather, it was conducted to evaluate the effect of the 120 Nm assembly torque on the component and to identify any changes that may occur following assembly.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1. Tensile Strength

The average tensile strengths of the SAE 1040 and PEEK materials are compared in Figure 1.

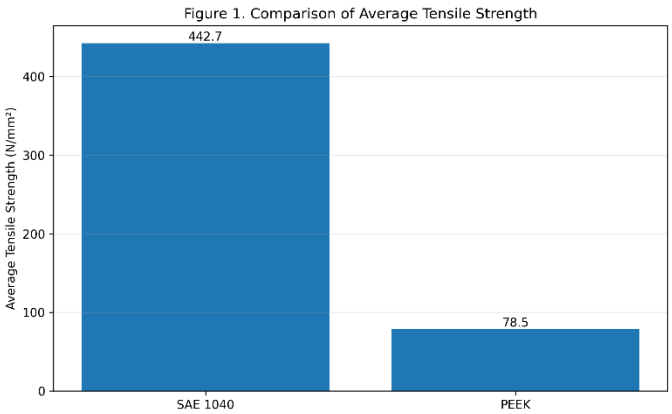


Figure 1. Comparison of the average tensile strengths of SAE 1040 and PEEK materials

The average tensile strength was measured as 442.7 N/mm² for SAE 1040 and 78.5 N/mm² for PEEK.

As shown in Figure 1, the average tensile strength of SAE 1040 is approximately 5.64 times higher than that of PEEK.

These results indicate that SAE 1040 exhibits a higher tensile strength than PEEK under the tested conditions.

3.2. Yield Strength

The average yield strengths of the materials are presented in Figure 2.

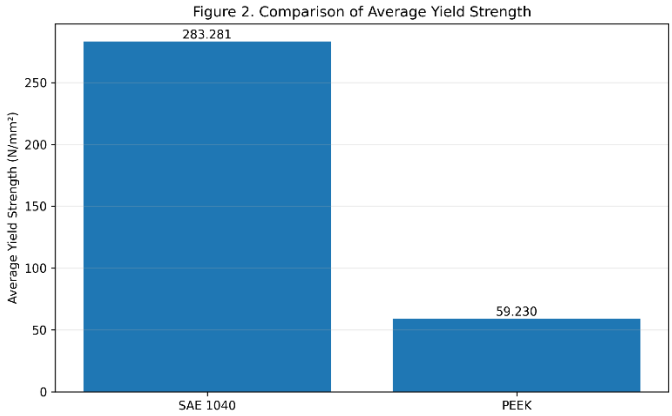


Figure 2. Comparison of the average yield strengths of SAE 1040 and PEEK materials

Comparison of the average tensile strengths of SAE 1040 and PEEK materials
The average tensile strength was measured as 442.7 N/mm² for SAE 1040 and 78.5 N/mm² for PEEK.
As shown in Figure 1, the average tensile strength of SAE 1040 is approximately 5.64 times higher than that of PEEK.
These results indicate that SAE 1040 exhibits a higher tensile strength than PEEK under the tested conditions.

3.3. Elongation at Break

The average elongation values of the materials are presented in Figure3.

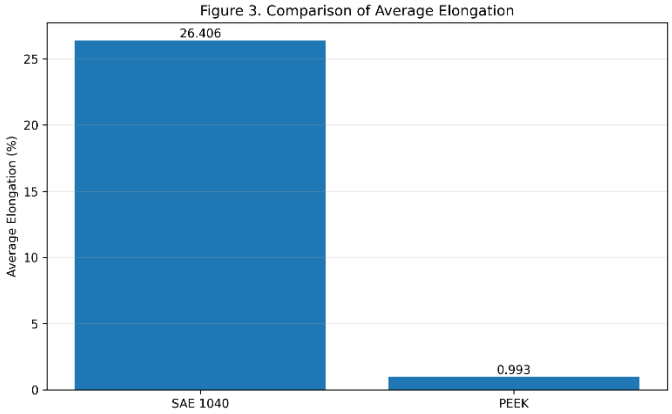


Figure 3. Comparison of the average elongation at break of SAE 1040 and PEEK

The average elongation at break was measured as 26.406% for SAE 1040 and 0.993% for PEEK. The higher elongation value of SAE 1040 indicates that the material has a greater capacity for deformation under tensile loading.

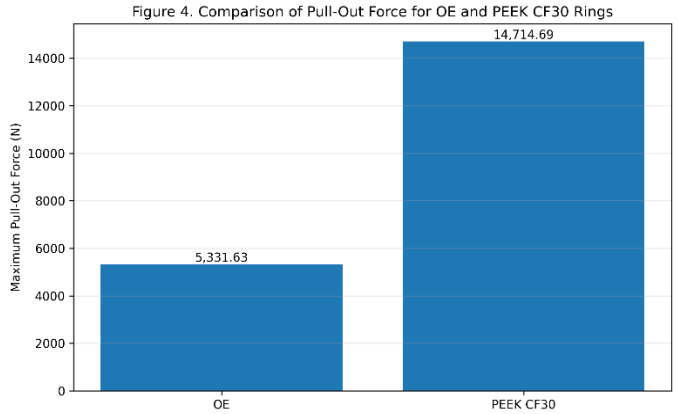
The low elongation values measured for the PEEK specimens indicate that the tested specimens have a more limited deformation capacity.

It has been reported in the literature that fiber orientation and processing conditions have significant effects on the mechanical behavior of PEEK composites [8,9]. Therefore, it should be noted that the values presented in Figure 3 are experimental values obtained from the PEEK specimens tested in this study.

4. BALL PIN RING PULL-OUT TEST RESULTS

Unlike the tensile bar test results, pull-out tests were performed on SAE 1040 and PEEK CF30 ball pin rings to evaluate their performance at the machined component level.

The obtained results are presented in Figure 4



.

Figure 4. Comparison of the maximum pull-out forces of the OE and PEEK CF30 ball pin rings

For the SAE 1040 ball pin ring, the maximum pull-out force was measured as:

5,331.63 N

For the PEEK CF30 ball pin ring, a maximum pull-out force of:

14,714.69 N was obtained.
Accordingly, the ratio of the pull-out force of the PEEK CF30 ball pin ring to that of the SAE 1040 ball pin ring was calculated as: 14,714.69 / 5,331.63 = 2.76
Therefore, the measured pull-out force of the PEEK CF30 ball pin ring was 2.76 times higher than that of the SAE 1040 ball pin ring.
In terms of percentage increase: [(14,714.69 − 5,331.63) / 5,331.63] × 100 = 176%
This result represents one of the most significant findings of the study.

5. COMPARISON OF MATERIAL AND COMPONENT-LEVEL RESULTS

A noteworthy finding of this study is that the tensile bar tests and the ball pin ring pull-out tests resulted in different performance rankings.
As clearly shown in Figures 1 and 2, SAE 1040 exhibits higher tensile and yield strengths than PEEK.
In contrast, Figure 4 demonstrates that the PEEK CF30 ball pin ring provides a substantially higher pull-out force than the SAE 1040 ball pin ring at the component level.
This difference is illustrated more clearly in Figure 5, where the material properties are presented as normalized values relative to SAE 1040.

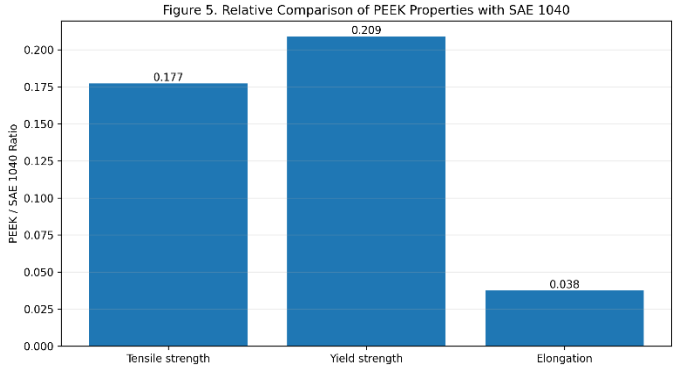


Figure 5. Normalized comparison of PEEK properties relative to SAE 1040
According to Figure 5, the ratios of PEEK to SAE 1040 are as follows:

- Tensile strength: 0.177
- Yield strength: 0.209
- Elongation: 0.038

In other words, although PEEK exhibited substantially lower tensile bar test results than SAE 1040, the PEEK CF30 ball pin ring exhibited a considerably higher pull-out force in the component-level test.
This result indicates that the pull-out performance of the ball pin ring is not governed solely by the tensile strength of the material.
At the component level, several parameters may contribute simultaneously, including:

- connection geometry,
- contact area,
- surface roughness,
- dimensional tolerances,
- clamping force,
- elastic deformation,
- load-transfer mechanism.

Previous studies have shown that the performance of PEEK composites in pin-bushing and

articulated joint applications is influenced by parameters such as contact pressure, sliding speed, temperature, and surface roughness [6,7,12].

Therefore, the results obtained in this study demonstrate that material-level mechanical properties and component-level functional performance should be evaluated separately.

6. RATIO-BASED EVALUATION OF PULL-OUT FORCE

To more clearly quantify the difference in pull-out force between the PEEK CF30 and SAE 1040 materials, the pull-out force ratio is additionally presented in Figure 6.

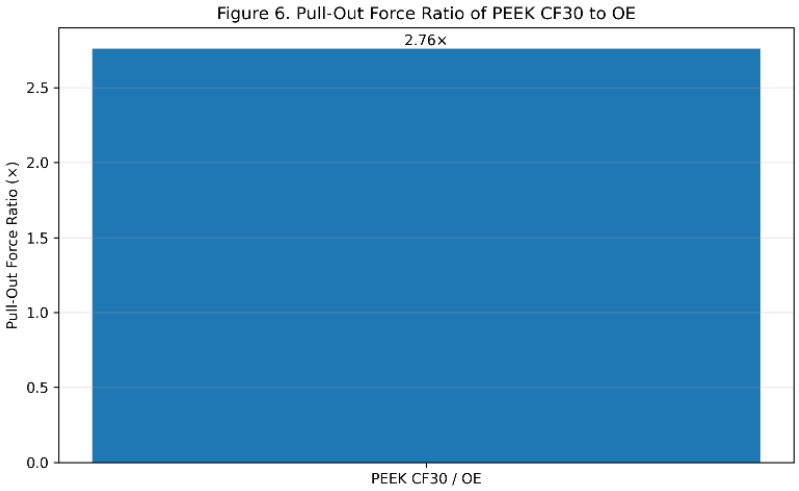


Figure 6. Pull-out force ratio of the PEEK CF30 and OE ball pin rings

As shown in Figure 6, the measured pull-out force of the PEEK CF30 ball pin ring is 2.76 times higher than that of the SAE 1040 ball pin ring.

This value indicates that, under the tested conditions, the PEEK CF30 component exhibited a higher resistance to separation from the tie rod end compared with the existing SAE 1040 ball pin ring.

However, this result is valid only for the test conditions applied in this study. A higher pull-out force alone does not demonstrate that the component satisfies all durability requirements under actual vehicle operating conditions.

7. 120 Nm ASSEMBLY TEST

A tightening torque of 120 Nm was applied to evaluate the behavior of the PEEK CF30 ball pin ring under representative assembly conditions.

During assembly, the PEEK CF30 ball pin ring was positioned onto the tie rod end, and a knuckle fixture representing the connection geometry on the vehicle side was used.

The nut was tightened to a torque value of 120 Nm.

Following assembly, the knuckle fixture was removed, and the physical condition of the ball pin ring was examined.

This test is important for evaluating the assembly performance of the PEEK CF30 component under the specified assembly torque.

However, it should be emphasized that this test was conducted solely as a static assembly verification test and does not represent long-term vehicle durability.

Since the mechanical properties of PEEK can be affected by temperature and processing conditions, as reported in the literature [8,9,12], it is recommended that future studies repeat the 120 Nm assembly test under different temperature conditions.

8. DISCUSSION

The results of this study demonstrate that although PEEK CF30 exhibits lower mechanical strength than SAE 1040 at the tensile specimen material level, it can provide a higher pull-out force at the ball pin ring component level.

This finding indicates that material properties alone are not sufficient to predict component performance in component design.

Previous studies conducted on PEEK CF30 composites have demonstrated that carbon fiber reinforcement can improve wear resistance and enhance frictional behavior when operating against steel counterfaces [4,5].

However, the results reported in the literature indicate that the performance of PEEK CF30 depends on several parameters, including temperature, contact pressure, sliding speed, , and fiber orientation [6-9,12].

Therefore, additional testing is required to determine whether the high pull-out force obtained within the scope of the present study can also be maintained under actual operating conditions.

In particular, since automotive suspension applications involve not only static loads but also repeated and variable loads, fatigue and cyclic durability tests are of critical importance.

9. ENGINEERING EVALUATION

The experimental results can be summarized as follows:

Property	SAE 1040	PEEK / PEEK CF30	Evaluation
Average tensile strength	442.7 N/mm²	78.5 N/mm²	SAE 1040 higher
Average yield strength	283.281 N/mm²	59.230 N/mm²	SAE 1040 higher
Average elongation at break	26.406%	0.993%	SAE 1040 higher
Maximum pull-out force	5,331.63 N	14,714.69 N	PEEK CF30 higher
Pull-out force ratio	1.00×	2.76×	Higher for PEEK CF30

As shown in the table, SAE 1040 exhibited higher measured performance at the tensile specimen level, whereas PEEK CF30 exhibited a higher measured performance at the ball pin ring component level.

Therefore, it would not be appropriate to interpret the results by stating that “PEEK CF30 is a stronger material.”

The appropriate engineering interpretation is: “Under the ball pin ring geometry and test conditions

used in this study, PEEK CF30 provided a higher component-level pull-out force than SAE 1040 despite exhibiting lower intrinsic mechanical strength at the material level."
This distinction represents one of the most important scientific aspects of the present study.

10. LIMITATIONS OF THE STUDY

Only two specimens were used for each material in the tensile tests. Therefore, additional testing with a larger number of specimens is required to improve the statistical reliability of the results.
For the ball pin ring pull-out tests, repeated testing with a larger number of PEEK CF30 and SAE 1040 specimens is also recommended.
The effects that may occur under actual vehicle operating conditions, including:

- vibration,
- cyclic loading,
- temperature variations,
- moisture,
- chemical exposure,
- fatigue,
- wear,

should also be evaluated separately.
In particular, finite element analysis under the 120 Nm assembly condition could be used to determine the contact pressure and stress distribution on the PEEK CF30 ball pin ring. Such an analysis may help explain the mechanism responsible for the higher pull-out force observed experimentally.

11. CONCLUSION

In this study, the replacement of the existing SAE 1040 ball pin ring with a PEEK CF30 ball pin ring was investigated.
In the tensile tests, the average tensile strength of SAE 1040 was determined to be 442.7 N/mm², while that of PEEK was 78.5 N/mm².
The average yield strengths were measured as 283.281 N/mm² and 59.230 N/mm², respectively.
These results indicate that SAE 1040 provides higher mechanical strength than PEEK at the raw material level.
In contrast, the pull-out test performed on the ball pin ring components showed a maximum pull-out force of 14,714.69 N for the PEEK CF30 ball pin ring and 5,331.63 N for the SAE 1040 ball pin ring.
The PEEK CF30/SAE 1040 ball pin ring pull-out force ratio was calculated as 2.76, indicating that the measured pull-out force of the PEEK CF30 solution was 176% higher than that of the OE solution.
This result demonstrates that the mechanical properties of the raw material alone do not determine the functional performance of the component.
The higher pull-out force exhibited by PEEK CF30 despite its lower material strength highlights the need to consider component geometry, contact conditions, load-transfer mechanisms, and assembly conditions together.
The 120 Nm assembly test provided an evaluation of the behavior of the PEEK CF30 ball pin ring under the specified assembly torque. However, it should be considered that this test represents a static assembly verification and does not, by itself, represent actual vehicle durability.
In conclusion, the experimental data obtained in this study indicate that PEEK CF30 has technical potential as an alternative material for the ball pin ring application of a tie rod end. Nevertheless, for final product validation, additional testing is required, including repeated pull-out tests,

temperature-dependent evaluations, cyclic loading, creep, vibration, and actual vehicle durability testing.

REFERENCES

[1] Thiruchitrambalam M, Bubesh Kumar D, Shanmugam D, Jawaid M. A review on PEEK composites—Manufacturing methods, properties and applications. Mater Today Proc. 2020;33:1085–1092. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.124/
[2] Liang QQ, Wu XQ. Research Status of Carbon Fibre-Reinforced PEEK Composites. Adv Mater Res. 2013;834–836:225–228. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.225/
[3] Dallal S, Eslami B, Tiari S. Recent Advances in PEEK for Biomedical Applications: A Comprehensive Review of Material Properties, Processing, and Additive Manufacturing. Polymers. 2025;17(14):1968. https://doi.org/10.3390/polym17141968/
[4] Davim JP, Cardoso R. Tribological behaviour of the composite PEEK-CF30 at dry sliding against steel using statistical techniques. Mater Des. 2006;27(4):338–342. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.11.006/
[5] Davim JP, Cardoso R. Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding. Wear. 2009;266(7–8):795–799. https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.11.003/
[6] Zhu J, Xie F, Dwyer-Joyce RS. PEEK Composites as Self-Lubricating Bush Materials for Articulating Revolute Pin Joints. Polymers.2020;12(3):665. https://doi.org/10.3390/polym12030665/
[7] Zhu J, Ma L, Dwyer-Joyce R. Friction and wear behaviours of self-lubricating PEEK composites for articulating pin joints. Tribol Int. 2020;149:105741. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.04.025/
[8] Chang B, Gu J, Long Z, Li Z, Ruan S, Shen C. Effects of temperature and fiber orientation on the tensile behavior of short carbon fiber reinforced PEEK composites. Polym Compos. 2021;42(2):597–607. https://doi.org/10.1002/pc.25850/
[9] Semadeni M, Zerlik H, Rossini P, Meyer J, Wintermantel E. High Fibre Volume Fraction Injection Moulding of Carbon Fibre Reinforced Polyetheretherketone (PEEK) in Order to Raise Mechanical Properties. Polym Polym Compos. 1998;6(5):279–286. https://doi.org/10.1177/147823919800600504/
[10] Toro SA, Ridruejo A, González C, Fernández Blázquez JP. Effect of Fiber-Matrix Interface on the Mechanical Response of a Woven Carbon Fiber/PEEK Composite Material. Materials. 2022;15(20):7340. https://doi.org/10.3390/ma15207340/
[11] Osti de Moraes DV, de Melo Morgado GF, Magnabosco R, Rezende MC. Study of the influence of PPS, PAEK, and PEEK thermoplastic matrices on the static mechanical behavior of carbon fiber-reinforced composites. Polym Compos. 2024;45(2):1726–1736. https://doi.org/10.1002/pc.27885/
[12] Hanchi J, Eiss NS. Dry sliding friction and wear of short carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone (PEEK) at elevated temperatures. Wear. 1997;203–204:380–386. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07347-4/

Acknowledgment

This study was supported by SIO AUTOMOTIVE TAŞIT YEDEK PARÇA A.Ş in frame of the project code of RD 26-1 as researchers, we thank the SIO AUTOMOTIVE TAŞIT YEDEK PARÇA A.Ş.

PALYATİF BAKIM HASTALARINDA HAREKET AKTİVİTESİNİ DESTEKLEYEN TAMAMLAYICI VE ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Doç. Dr. Nurdan YALÇIN ATAR
Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Hemşirelik Fakültesi, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6318-3882
Dr. Öğr. Üyesi Murat KOÇ
İstanbul Arel Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4218-6558

ÖZET
Palyatif bakım alan bireylerde ilerleyen hastalık, ağrı, yorgunluk ve uzun süre yatakta kalma nedeniyle hareket kapasitesi sıklıkla azalmaktadır. Hareketsizlik; kas kütlesi ve gücünde kayıp, eklem sertliği, tromboembolik olaylar, pnömoni, basınç yaralanmaları ve düşmeler gibi komplikasyonlara zemin hazırlamakta, hastanın başkalarına bağımlılığını artırarak yaşam kalitesini düşürmektedir. Tıbbi tedavi ve rehabilitasyon hareketin korunmasında temel bir yere sahip olsa da bu girişimler hastaların gereksinimlerini her zaman karşılayamamakta, rehabilitasyon hizmetlerine erişim de sınırlı kalabilmektedir. Bu durum, mevcut tedavilerle birlikte kullanılabilecek tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımlara duyulan ilgiyi artırmaktadır. Ulusal Tamamlayıcı ve İntegratif Sağlık Merkezi (National Center for Complementary and Integrative Health), ana akım tıbbın dışında kalan bir yaklaşımı standart tedaviyle birlikte kullanıldığında "tamamlayıcı", onun yerine kullanıldığında ise "alternatif" olarak nitelendirmektedir. Palyatif bakım hastalarında hareket aktivitesini desteklemeye yönelik bu yaklaşımlar; fiziksel egzersiz ve mobilizasyon yaklaşımları, zihin-beden hareket yaklaşımları, manuel/dokunsal yaklaşımlar ile eğitim ve destek odaklı yaklaşımlar olmak üzere dört başlık altında incelenebilir. Literatür, fiziksel egzersiz ve zihin-beden hareket yaklaşımlarının fiziksel performansı ve yürüme kapasitesini destekleyebildiğini; masaj ile eğitim ve destek odaklı yaklaşımların ise ağrı ve yorgunluk gibi hareketi kısıtlayan semptomları hafifleterek ve hareketin güvenli biçimde sürdürülmesine katkı sağlayarak hareket aktivitesini dolaylı yoldan destekleyebildiğini göstermektedir. Bu derleme, palyatif bakım alan bireylerde hareket aktivitesini desteklemede kullanılan tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımları mevcut literatür ışığında incelemek ve bu yaklaşımların klinik uygulamaya kazandırılmasına katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır.
Anahtar kelimeler: Palyatif bakım, hareketsizlik, mobilizasyon, tamamlayıcı ve alternatif tıp

COMPLEMENTARY AND ALTERNATIVE APPROACHES SUPPORTING THE ACTIVITY OF MOBILIZING IN PALLIATIVE CARE PATIENTS

ABSTRACT
In individuals receiving palliative care, mobility frequently declines as a result of disease progression, pain, fatigue and prolonged bed rest. Immobility predisposes patients to complications such as loss of muscle mass and strength, joint stiffness, thromboembolic events, pneumonia, pressure injuries and falls, and it reduces quality of life by increasing dependence on others. Although medical treatment and rehabilitation play a central role in maintaining mobility, these interventions do not always meet patients' needs, and access to rehabilitation services may be limited. This gap has increased interest in complementary and alternative approaches that can be combined with existing treatments. The National Center for

Complementary and Integrative Health describes a non-mainstream approach as "complementary" when it is used together with conventional medicine and as "alternative" when it is used in its place. Approaches aimed at supporting mobility in palliative care patients can be examined under four headings: physical exercise and mobilization approaches, mind–body movement approaches, manual/touch-based approaches, and education- and support-oriented approaches. The literature indicates that physical exercise and mind–body movement approaches may support physical performance and walking capacity, whereas massage and education- and support-oriented approaches may support mobility indirectly by relieving movement-limiting symptoms such as pain and fatigue and by helping patients move safely. This review was conducted to examine, in the light of the existing literature, the complementary and alternative approaches used to support mobility in individuals receiving palliative care, and to contribute to their integration into clinical practice.
Keywords: Palliative care, immobility, mobilization, complementary and alternative medicine

1. GİRİŞ

Palyatif bakım; iyileştirici tedavinin mümkün olmadığı ya da yaşam süresini kısaltan hastalıklarla yaşayan bireylere ve yakınlarına sunulan, bedensel yakınmaların yanı sıra ruhsal, toplumsal ve manevi sorunları da ele alan ve farklı meslek gruplarının birlikte yürüttüğü bir sağlık hizmetidir (Borasio, 2011; Madenoğlu Kıvanç, 2017). Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) göre palyatif bakım, yaşamı tehdit eden hastalıklarla karşı karşıya kalan hastaların ve ailelerinin yaşadığı ağrı ile diğer fiziksel, psikososyal ve spiritüel güçlüklerin erkenden saptanması, doğru biçimde değerlendirilmesi ve tedavi edilmesi yoluyla yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedeflemektedir (World Health Organization [WHO], 2020). Palyatif bakım gereksinimi olan yetişkinlerin büyük bölümünü kalp-damar hastalıkları, kanser ve kronik solunum yolu hastalıkları olan bireyler oluşturmakta; böbrek ve karaciğer yetmezlikleri, multipl skleroz ve Parkinson hastalığı gibi nörolojik hastalıklar, demans ve doğumsal anomaliler de bu kapsamda yer almaktadır (WHO, 2020). Palyatif bakım yalnızca yaşamın son günleriyle sınırlı değildir; hastalığın erken döneminden başlayarak ortaya çıkabilecek sorunların önceden fark edilmesini ve çok yönlü olarak yönetilmesini kapsamaktadır (WHO, 2020).

Hastalığın seyri ve uygulanan tedaviler nedeniyle palyatif bakım hastaları çoğu zaman birden fazla semptomu bir arada yaşamaktadır. Teunissen ve ark. (2007), tedavi edilemeyen kanser hastalarını kapsayan sistematik derlemelerinde yorgunluk, ağrı, enerji eksikliği, güçsüzlük ve iştahsızlığın hastaların yarısından fazlasında görüldüğünü, değerlendirilen semptomların hemen tamamının ise hastaların en az %10'unda bulunduğunu bildirmiştir. Bu yakınmaların ortak sonuçlarından biri, hastanın hareket etme kapasitesinin giderek azalmasıdır. Lunney ve ark. (2003), yaşamın son yılında işlevsel kaybın hastalık türüne göre farklı örüntüler izlediğini; kanser hastalarında işlevselliğin özellikle son üç ayda hızla gerilediğini göstermiştir. Hareket kısıtlılığı hastanın günlük yaşam aktivitelerinde başkalarına bağımlı hale gelmesine yol açmakta, bakım gereksinimini artırmakta ve yaşam kalitesini düşürmektedir (Javier ve Montagnini, 2011). Metastatik meme kanserli 163 kadını değerlendiren Cheville ve ark. (2008), katılımcıların %92'sinde en az bir fiziksel bozukluk bulunduğunu raporlamıştır. Klinikte bu durum; hastanın yatakta kendi başına dönememesi, yataktan sandalyeye geçerken yardıma gereksinim duyması, yürümekte güçlük çekmesi ya da dengesini korumakta zorlanması biçiminde kendini gösterebilmektedir (Javier ve Montagnini, 2011). Uzun süre hareketsiz kalan bireylerde kısa sürede kas kütlesi ve kas gücü azalmakta, kemik mineral yoğunluğu düşmektedir (Parry ve Puthucheary, 2015). Hareketsizlik ayrıca atelektazi ve pnömoni gibi solunum komplikasyonları ile tromboembolik olaylar ve basınç yaralanmaları riskini

artırmaktadır (Parry ve Puthucheary, 2015). Güç ve denge kaybının bir diğer önemli sonucu düşmelerdir. Stone ve ark. (2012), palyatif bakım hizmeti alan 185 ileri evre kanser hastasını altı ay boyunca izledikleri prospektif çalışmada, hastaların %50,3'ünün en az bir kez düştüğünü ve düşmelerin %42'sinin yaralanmayla sonuçlandığını saptamıştır. Hareket aktivitesinin azalmasında tek bir etkenden söz etmek mümkün değildir; kondisyon kaybı, yorgunluk, ağrı, tedavilere bağlı komplikasyonlar, beslenme yetersizliği, nörolojik ve kas-iskelet sistemi sorunları ile depresyon birlikte rol oynamaktadır (Javier ve Montagnini, 2011). Bu çok boyutlu yapı, hareket kısıtlılığının salt fiziksel bir sorun olarak görülmemesini; hastanın semptomları, ruhsal durumu ve yaşam koşullarıyla birlikte ele alınmasını gerektirmektedir (Javier ve Montagnini, 2011).

Hastanın hareketliliğini korumaya yönelik girişimler arasında rehabilitasyon önemli bir yere sahiptir (Javier ve Montagnini, 2011). Ağrı, hareket kısıtlılığına yol açan başlıca etkenler arasında yer aldığından ağrı kontrolü rehabilitasyonun temel bileşenlerinden biridir (Javier ve Montagnini, 2011). Rehabilitasyon girişimleri planlanırken hastanın klinik tablosu, yorgunluk düzeyi ve aktiviteye ne ölçüde dayanabildiği belirleyici olmalıdır (Campbell ve ark., 2019; Javier ve Montagnini, 2011). Bunun yanı sıra kullanılan tedavilerin neden olabildiği yorgunluk ve sedasyon, hastanın fiziksel olarak daha az aktif olmasına yol açabilmektedir (Oldervoll ve ark., 2011). Stone ve ark. (2012) ise benzodiazepin dozunun düşme riskiyle bağımsız olarak ilişkili olduğunu bildirmiştir. Öte yandan rehabilitasyon girişimleri hastaların gereksinimlerini her zaman karşılayamamakta, rehabilitasyon hizmetlerine ulaşmak da güç olabilmektedir. Nitekim Cheville ve ark. (2008), rehabilitasyon gerektiren bozuklukların ancak %30'una yönelik bir girişimde bulunulduğunu belirtmiştir. Bu boşluk, hareket aktivitesinin desteklenmesinde mevcut tedavilerle birlikte kullanılabilecek tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımlara duyulan ilgiyi artırmaktadır.

Geleneksel tıp, farklı kültürlere özgü kuram, inanç ve deneyimlere dayanan ve sağlığın korunması ile hastalıkların önlenmesi, tanılanması ve tedavisinde kullanılan bilgi, beceri ve uygulamaların bütünüdür; bu bilgi birikimi pek çok toplumda kuşaktan kuşağa aktarılarak günümüze ulaşmıştır. DSÖ, bir ülkenin kendi geleneğinin ya da ana akım tıbbının parçası olmayan ve sağlık sistemine tam olarak entegre edilmemiş sağlık uygulamalarını "tamamlayıcı" veya "alternatif" tıp olarak tanımlamaktadır (WHO, 2013). ABD'de bu alandaki araştırmaları yürüten Ulusal Tamamlayıcı ve İntegratif Sağlık Merkezi (National Center for Complementary and Integrative Health, NCCIH), ana akım tıbbın dışında kalan yaklaşımları standart tedaviyle birlikte kullanıldıklarında "tamamlayıcı", onun yerine kullanıldıklarında ise "alternatif" olarak nitelendirmektedir (National Center for Complementary and Integrative Health [NCCIH], 2021). Bu derlemede, standart tıbbi tedaviye ek olarak uygulanabilen ve hareket aktivitesini desteklemeye yönelik farmakolojik olmayan girişimler tamamlayıcı yaklaşımlar kapsamında ele alınmıştır. Palyatif bakım hastalarında hareket aktivitesini desteklemeye yönelik tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımlar; fiziksel egzersiz ve mobilizasyon yaklaşımları, zihin-beden hareket yaklaşımları, manuel/dokunsal yaklaşımlar ile eğitim ve destek odaklı yaklaşımlar olmak üzere dört başlık altında toplanabilir.

Bu derleme, palyatif bakım alan bireylerde hareket aktivitesini desteklemede kullanılan tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımları mevcut literatür ışığında incelemek ve bu yaklaşımların klinik uygulamaya kazandırılmasına katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır.

2. PALYATİF BAKIM HASTALARINDA HAREKET AKTİVİTESİNİ DESTEKLEMEYE YÖNELİK KULLANILAN TAMAMLAYICI VE ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Fiziksel egzersiz ve mobilizasyon yaklaşımları: Bu yaklaşımlar, hastanın fiziksel kapasitesine ve gereksinimlerine göre bireyselleştirilerek planlanan bedensel etkinlikleri kapsamaktadır (Campbell ve ark., 2019; Javier ve Montagnini, 2011). Aerobik egzersizler, hafif dirençli kuvvet çalışmaları, eklem hareket açıklığı ve germe egzersizleri, denge ve fonksiyonel egzersizler, yatak içi ve yatak dışı mobilizasyon ile kısa mesafeli yürüyüşler bu grupta yer almaktadır (Campbell ve ark., 2019; Javier ve Montagnini, 2011). Uygulamanın türü, süresi ve yoğunluğu; hastanın klinik durumu, semptom yükü ve günlük dalgalanmalar göz önüne alınarak belirlenmektedir (Campbell ve ark., 2019). Hareket kapasitesi çok sınırlı olan hastalarda pasif ve aktif egzersizlerden yararlanılabilmektedir (Javier ve Montagnini, 2011). Programın düşük yoğunlukta başlatılması ve tolerans arttıkça kademeli olarak ilerletilmesi önerilmektedir (Campbell ve ark., 2019). Fiziksel egzersiz ve mobilizasyonun hareket aktivitesi üzerindeki etki mekanizmaları şu şekilde açıklanabilir:

- Düzenli egzersiz ve erken mobilizasyon, hareketsizliğe bağlı kas protein sentezindeki azalmayı ve buna eşlik eden kas kütlesi ile kas gücü kaybını sınırlandırarak fiziksel işlevin korunmasını sağlamaktadır. Böylece hastanın yataktan kalkma, oturma ve ayağa kalkma gibi temel hareketleri sürdürebilmesi kolaylaşmaktadır (Parry ve Puthucheary, 2015).
- Eklem hareket açıklığı egzersizleri, eklem esnekliğinin ve hareket açıklığının korunmasını sağlayarak eklem sertliğinin gelişimini sınırlandırmakta ve böylece hastanın hareketlerini daha rahat gerçekleştirebilmesine olanak sağlamaktadır (Javier ve Montagnini, 2011).
- Aktif hareket ve düzenli pozisyon değişikliği, hareketsizliğe bağlı gelişebilen tromboembolik olaylar, pnömoni ve basınç yaralanmaları gibi komplikasyonların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Hastanın hareket kapasitesini daha da kısıtlayabilecek bu komplikasyonların önlenmesi, hareket aktivitesinin sürdürülebilmesine katkı sağlamaktadır (Javier ve Montagnini, 2011; Parry ve Puthucheary, 2015).
- Aerobik etkinlikler, kalp-damar ve solunum sisteminin kapasitesini ve dayanıklılığını artırmaktadır. Böylece hastanın günlük aktiviteler sırasında daha az yorulması sağlanmaktadır (Campbell ve ark., 2019; Javier ve Montagnini, 2011).
- Denge ve kuvvet çalışmaları, kas güçsüzlüğü ve denge bozukluğuna bağlı düşme riskinin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Düşme riskinin azalması, hastanın hareket etme konusunda kendini daha güvende hissetmesine katkı sağlamaktadır (Campbell ve ark., 2019; Javier ve Montagnini, 2011).

Literatürde fiziksel egzersiz ve mobilizasyon uygulamalarının ileri evre hastalarda hareket aktivitesi ile ilişkili sonuçlar üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Pyszora ve ark. (2017), palyatif bakım alan 60 ileri evre kanser hastasıyla yürüttükleri randomize kontrollü çalışmada, iki hafta boyunca haftada üç kez uygulanan fizyoterapi programının yorgunluğu azalttığını ve genel iyilik halini artırdığını saptamıştır. Yorgunluğun hareket aktivitesini kısıtlayan temel etkenlerden biri olduğu düşünüldüğünde, bu bulgu hastanın harekete katılımının desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Oldervoll ve ark. (2011), tedavi edilemeyen kanser tanısıyla palyatif dönemde izlenen 231 hastada sekiz hafta boyunca uygulanan egzersiz programının yorgunluğu azaltmadığını, ancak fiziksel performansı anlamlı şekilde iyileştirdiğini bildirmiştir. Bu sonuç, egzersizin yorgunluk üzerinde belirgin bir etki oluşturmasa bile hastanın hareket kapasitesini doğrudan geliştirebildiğini göstermektedir. Heywood ve ark. (2017) ise sistematik derlemelerinde, ileri evre kanser hastalarında egzersiz

uygulamalarının güvenli ve uygulanabilir olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, fiziksel egzersiz ve mobilizasyon uygulamalarının ileri evre hastalarda fiziksel performansı destekleyerek hareket aktivitesinin korunmasına katkı sağlayabileceği söylenebilir (Heywood ve ark., 2017; Oldervoll ve ark., 2011; Pyszora ve ark., 2017).

Zihin-beden hareket yaklaşımları: Bu yaklaşımlar, bedensel hareketi nefes kontrolü ve zihinsel odaklanmayla bir arada kullanan uygulamaları kapsamaktadır (Wang ve ark., 2017). Yoga; nazik germe duruşları (asanalar), nefes çalışmaları ve meditasyondan oluşmaktadır (Carson ve ark., 2007). Tai chi, derin ve yavaş diyafram nefesiyle birlikte ayakta yapılan akıcı hareketlerden oluşurken (Wang ve ark., 2017), geleneksel Çin tıbbına dayanan qigong meditasyonu, yavaş bedensel hareketleri ve kontrollü nefesi bir araya getiren bir zihin-beden egzersizi olarak tanımlanmaktadır (Vanderbyl ve ark., 2017). Hafif fiziksel egzersizleri nefes ve gevşeme teknikleriyle birleştiren yoga, özellikle yaşlı, hareketsiz ve fiziksel kapasitesi düşük hastalarda iyi tolere edilen bir seçenek olarak değerlendirilmekte; duruşlar hastanın bireysel gereksinimlerine göre uyarlanabilmektedir (Carson ve ark., 2007; Milbury ve ark., 2026). Zihin-beden hareket yaklaşımlarının hareket aktivitesi üzerindeki etki mekanizmaları şu şekilde açıklanabilir:

- Tai chi'de yarı çömelme pozisyonunda yapılan hareketler, bacak kaslarında konsantrik ve eksantrik kasılmalar oluşturarak alt ekstremite kas gücünü ve dayanıklılığını artırmaktadır. Alt ekstremite kas gücündeki artış, hastanın ayağa kalkma ve yürüme gibi temel hareketleri daha kolay gerçekleştirebilmesine katkı sağlamaktadır (Chen ve ark., 2023).
- Tai chi'de vücut ağırlığının kontrollü biçimde aktarılması, ağırlık merkezinin kontrolünü ve postürün ayarlanmasını geliştirmektedir. Bu durum dengenin iyileşmesine ve düşme riskinin azalmasına katkı sağlayarak hastanın daha güvenli hareket edebilmesine olanak tanımaktadır (Chen ve ark., 2023).
- Yoga ve tai chi uygulamalarında yer alan germe hareketleri, kasların esnemesini destekleyerek hareketlerin daha rahat gerçekleştirilebilmesine yardımcı olmaktadır (Carson ve ark., 2007; Wang ve ark., 2017).
- Yoga, sempatik sinir sistemi aktivitesini azaltıp parasempatik aktiviteyi artırarak gevşeme yanıtı oluşturmaktadır. Bu yanıtın ağrı, yorgunluk ve sıkıntıyı hafifletmesi, hastanın harekete katılımını kolaylaştırabilmektedir (Carson ve ark., 2007).

Carson ve ark. (2007), metastatik meme kanserli 13 kadına uyguladıkları sekiz haftalık palyatif yoga programında hastaların canlılık ve kabullenme düzeylerinin arttığını; evde daha uzun süre yoga yapılan günlerin ertesinde ağrı ve yorgunluğun daha az, canlılık ve gevşeme düzeyinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Ağrı ve yorgunluğun azalması ile canlılığın artması, hastanın günlük hareketlere katılımını destekleyebilecek önemli bulgulardır. Milbury ve ark. (2026), büyük çoğunluğu evre III olan akciğer veya özofagus kanseri nedeniyle torasik radyoterapi alan hastalar ve aile üyelerinden oluşan 111 çiftle (222 katılımcı) yürüttükleri randomize kontrollü çalışmada, 15 seanslık yoga programının, eğitim ve destek programı uygulanan kontrol grubuna göre hastaların altı dakika yürüme mesafesini klinik olarak da anlamlı düzeyde artırdığını (469 m'ye karşı 441 m) ve fiziksel yaşam kalitelerini iyileştirdiğini saptamıştır. Yürüme mesafesindeki bu artış, yoganın hareket kapasitesi üzerindeki olumlu etkisini doğrudan ortaya koymaktadır. Vanderbyl ve ark. (2017), ileri evre akciğer ve gastrointestinal kanserli hastalarda altı hafta boyunca haftada iki kez uygulanan medikal qigong ile standart egzersiz programını karşılaştırdıkları çaprazlama çalışmada, iki yöntemin psikolojik işlev ve yaşam kalitesi üzerindeki etkisinin benzer olduğunu, ancak yürüme mesafesi ve algılanan güçteki artışın standart egzersiz programında daha belirgin olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, hareket kapasitesinin geliştirilmesinde standart egzersizin daha etkili olabileceğini,

qigong'un ise standart egzersizi tolere edemeyen hastalarda bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Zhang ve ark. (2016) ise kemoterapi alan 96 akciğer kanserli hastayla yürüttükleri randomize kontrollü çalışmada, 12 hafta boyunca gün aşırı uygulanan tai chi egzersizinin düşük yoğunluklu egzersize kıyasla genel ve fiziksel yorgunluğu daha fazla azalttığını ve canlılığı artırdığını belirlemiştir. Fiziksel yorgunluğun azalması, hastanın hareket etme isteğini ve kapasitesini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Mevcut bulgular, zihin-beden hareket yaklaşımlarının yorgunluk ve ağrı gibi hareketi kısıtlayan semptomları azaltarak ve yürüme kapasitesini destekleyerek hareket aktivitesinin korunmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Carson ve ark., 2007; Milbury ve ark., 2026; Vanderbyl ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2016).

Manuel/dokunsal yaklaşımlar: Bu yaklaşımlar, terapistin elleriyle yumuşak dokulara ya da vücudun belirli bölgelerine dokunma, ovma ve basınç uygulamasına dayanan yöntemleri kapsamaktadır (Kutner ve ark., 2008). Masaj, yaşam kalitesini iyileştirmek amacıyla giderek daha sık kullanılan bütünleyici bir yöntemdir (Cates ve ark., 2023). İleri evre hastalarda masaj genellikle hafif tekniklerle uygulanmakta ve hasta sırtüstü, yan yatar ya da oturur durumdayken yapılabilmektedir. Uygulama; cilt kırılganlığı, ödem, postür kısıtlılığı ve kemik metastazı gibi durumlarda hastaya göre uyarlanabilmektedir (Kutner ve ark., 2008). Manuel/dokunsal yaklaşımların hareket aktivitesi üzerindeki etki mekanizmaları şu şekilde açıklanabilir:

- Masaj, ağrının tedavisinde kullanılan fiziksel yöntemler arasında yer almaktadır. Özellikle tetik noktalara uygulanan yoğun parmak basıncı, kaslarda spazm ve ağrı döngüsünü kırmayı amaçlamaktadır. Ağrının ve kas spazmının azalması, hastanın hareket etmesini ve günlük aktivitelere katılmasını kolaylaştırmaktadır (Javier ve Montagnini, 2011; Kutner ve ark., 2008).
- Masajın bazı çalışmalarda kas gerginliğini azalttığı ve eklem hareket açıklığını artırdığı bildirilmektedir (Field, 2016). Kas gerginliğinin azalması ve eklem hareket açıklığının artması, hastanın hareketlerini daha az kısıtlanarak sürdürebilmesine olanak tanımaktadır.
- Masaj, deri altındaki basınç reseptörlerini uyararak vagal aktiviteyi artırabilmekte ve kortizol düzeyini düşürebilmektedir. Bu yolla tüm vücutta genel bir gevşeme sağlanmakta ve stres yanıtı hafiflemektedir (Cates ve ark., 2023; Field, 2016). Rahatlayan ve stresi azalan hastanın fiziksel etkinliklere katılma isteği artabilmektedir.

Kutner ve ark. (2008), %90'ı hospis bakımı alan 380 ileri evre kanser hastasında iki hafta boyunca altı seans uygulanan masajın, basit dokunmaya kıyasla ağrıyı ve duygudurumu seans sonrasında daha fazla iyileştirdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, ağrı ve yaşam kalitesi üzerinde iki grup arasında uzun süreli bir fark saptanmamıştır (Kutner ve ark., 2008). Bu bulgu, masajın sağladığı kısa süreli ağrı azalmasının, seans sonrasında hastanın harekete katılımı için uygun bir zaman aralığı oluşturabileceğini düşündürmektedir. Cates ve ark. (2023) ise palyatif bakım hastalarında masajı inceleyen derlemesinde, masajın uygulanabilir ve güvenli bir yöntem olduğunu vurgulamıştır. Aynı derlemede masajın etkilerinin çoğunlukla birkaç saat ile dört hafta arasında sürdüğü bildirilmiştir (Cates ve ark., 2023). Bu durum, hareket aktivitesine yönelik yararın sürdürülebilmesi için uygulamaların düzenli aralıklarla tekrarlanması gerektiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, masajın hareket aktivitesini doğrudan artırmaktan çok ağrı gibi hareketi kısıtlayan semptomları hafifleterek ve duygudurumu iyileştirerek dolaylı yoldan destekleyebileceğini göstermektedir (Cates ve ark., 2023; Kutner ve ark., 2008).

Eğitim ve destek odaklı yaklaşımlar: Bu yaklaşımlar, hastaya ve bakım veren aile üyelerine hareketin güvenli biçimde sürdürülmesi için gereken bilgi ve becerilerin kazandırılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda enerji yönetimi, yardımcı araçların kullanımı ve çevresel

düzenlemeler ile uygun vücut mekaniği, düşmeyi önleme ve dengeyi koruma stratejileri ele alınmaktadır (Javier ve Montagnini, 2011). Enerji koruma, dinlenme ile etkinlik arasında denge kurularak kişinin enerji kaynaklarının bilinçli ve planlı biçimde yönetilmesini ve böylece değer verdiği etkinlikleri sürdürebilmesini amaçlamaktadır (Barsevick ve ark., 2004). Yardımcı araçlar ve çevresel düzenlemeler, hastanın günlük yaşamda daha bağımsız ve güvenli hareket edebilmesine yöneliktir. Bakım verenlere yönelik eğitimlerde ise hastanın güvenli biçimde transfer edilmesi ve yer değiştirmesi için uygun vücut mekaniği, düşmeyi önleme ve dengeyi koruma stratejileri öğretilmektedir (Javier ve Montagnini, 2011). Hastaya ve ailesine yönelik eğitimler yüz yüze, telefonla, çevrimiçi, bireysel ya da grup halinde verilebilmektedir (Chapman ve ark., 2022). Eğitim ve destek odaklı yaklaşımların hareket aktivitesi üzerindeki etki mekanizmaları şu şekilde açıklanabilir:

- Enerji yönetimi, hastanın sınırlı enerjisini gün içine dengeli biçimde dağıtmasını sağlayarak yorgunluğun hareket üzerindeki kısıtlayıcı etkisini azaltmaktadır. Böylece hasta, enerjisini kendisi için önemli olan hareket aktivitelerine ayırabilmektedir (Barsevick ve ark., 2004; Javier ve Montagnini, 2011).
- Baston, yürüteç ve tekerlekli sandalye gibi yardımcı araçlar ile çevresel düzenlemeler, ağrı, yorgunluk ve güçsüzlüğün hareket üzerindeki kısıtlayıcı etkisini azaltmaktadır. Böylece hasta, yürüme ve transfer gibi hareketlerini daha bağımsız ve güvenli biçimde gerçekleştirebilmektedir (Javier ve Montagnini, 2011).
- Bakım verenlerin uygun vücut mekaniği ve düşmeyi önleme konusunda eğitilmesi, transfer ve yer değiştirme sırasında hastanın güvenle desteklenmesini sağlamaktadır. Böylece düşme ve yaralanma riski azalmakta ve hastanın hareket etmeye devam etmesi kolaylaşmaktadır (Javier ve Montagnini, 2011).

Cheville ve ark. (2019), ileri evre kanser hastalarında fizyoterapist ve hekimden oluşan ekip tarafından uzaktan yürütülen rehabilitasyon programının fonksiyonel durumu iyileştirdiğini ve ağrıyı azalttığını belirlemiştir. Bu bulgu, hastanın uzaktan da olsa düzenli olarak yönlendirilmesinin ve desteklenmesinin hareket kapasitesine olumlu yansıyabileceğini göstermektedir. Chapman ve ark. (2022) ise ileri evre kanserde yorgunluk yönetimine ilişkin kılavuzları inceledikleri derlemede, hasta ve ailesinin bilgilendirilmesini ve fiziksel etkinliğin enerji koruma teknikleriyle dengelenmesini önermiştir. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, eğitim ve destek odaklı yaklaşımların hastanın enerjisini daha etkili kullanmasını ve hareketlerini güvenli biçimde sürdürmesini destekleyerek hareket aktivitesine katkı sağlayabileceği söylenebilir (Chapman ve ark., 2022; Cheville ve ark., 2019).

3. SONUÇ

Hareket kısıtlılığı, palyatif bakım hastalarında bağımsızlığı ve yaşam kalitesini doğrudan etkileyen yaygın ancak çoğu zaman yeterince ele alınmayan bir sorundur. Tamamlayıcı ve alternatif yaklaşımlar, bu alandaki boşluğu doldurma potansiyeli taşımaktadır. Ancak bu yaklaşımların tıbbi tedavi ve rehabilitasyonun yerine değil, onları tamamlayıcı biçimde ve hastanın klinik durumu, semptom yükü ve tercihleri doğrultusunda bireyselleştirilerek uygulanması önerilmektedir. Bu süreçte hemşirelerin ve diğer sağlık profesyonellerinin bu yaklaşımlara ilişkin bilgi ve becerileri geliştirilmelidir.

FİNANSAL KAYNAK

Bu derlemenin hazırlanmasında herhangi bir kurum ya da kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu derleme ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

KAYNAKÇA

Barsevick, A. M., Dudley, W., Beck, S., Sweeney, C., Whitmer, K., & Nail, L. (2004). A randomized clinical trial of energy conservation for patients with cancer-related fatigue. *Cancer, 100*(6), 1302–1310. https://doi.org/10.1002/cncr.20111

Borasio, G. D. (2011). Translating the World Health Organization definition of palliative care into scientific practice. *Palliative & Supportive Care, 9*(1), 1–2. https://doi.org/10.1017/S1478951510000489

Campbell, K. L., Winters-Stone, K. M., Wiskemann, J., May, A. M., Schwartz, A. L., Courneya, K. S., Zucker, D. S., Matthews, C. E., Ligibel, J. A., Gerber, L. H., Morris, G. S., Patel, A. V., Hue, T. F., Perna, F. M., & Schmitz, K. H. (2019). Exercise guidelines for cancer survivors: Consensus statement from international multidisciplinary roundtable. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 51*(11), 2375–2390. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002116

Carson, J. W., Carson, K. M., Porter, L. S., Keefe, F. J., Shaw, H., & Miller, J. M. (2007). Yoga for women with metastatic breast cancer: Results from a pilot study. *Journal of Pain and Symptom Management, 33*(3), 331–341. https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2006.08.009

Cates, C., Jordan, K., Munk, N., Farrand, R., Kennedy, A. B., & Groninger, H. (2023). Massage therapy in palliative care populations: A narrative review of literature from 2012 to 2022. *Annals of Palliative Medicine, 12*(5), 963–975. https://doi.org/10.21037/apm-23-126

Chapman, E. J., Di Martino, E., Edwards, Z., Black, K., Maddocks, M., & Bennett, M. I. (2022). Practice review: Evidence-based and effective management of fatigue in patients with advanced cancer. *Palliative Medicine, 36*(1), 7–14. https://doi.org/10.1177/02692163211046754

Chen, W., Li, M., Li, H., Lin, Y., & Feng, Z. (2023). Tai Chi for fall prevention and balance improvement in older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Public Health, 11*, Article 1236050. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1236050

Cheville, A. L., Moynihan, T., Herrin, J., Loprinzi, C., & Kroenke, K. (2019). Effect of collaborative telerehabilitation on functional impairment and pain among patients with advanced-stage cancer: A randomized clinical trial. *JAMA Oncology, 5*(5), 644–652. https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2019.0011

Cheville, A. L., Troxel, A. B., Basford, J. R., & Kornblith, A. B. (2008). Prevalence and treatment patterns of physical impairments in patients with metastatic breast cancer. *Journal of Clinical Oncology, 26*(16), 2621–2629. https://doi.org/10.1200/JCO.2007.12.3075

Field, T. (2016). Massage therapy research review. *Complementary Therapies in Clinical Practice, 24*, 19–31. https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2016.04.005

Heywood, R., McCarthy, A. L., & Skinner, T. L. (2017). Safety and feasibility of exercise interventions in patients with advanced cancer: A systematic review. *Supportive Care in Cancer, 25*(10), 3031–3050. https://doi.org/10.1007/s00520-017-3827-0

Javier, N. S. C., & Montagnini, M. L. (2011). Rehabilitation of the hospice and palliative care patient. *Journal of Palliative Medicine, 14*(5), 638–648. https://doi.org/10.1089/jpm.2010.0125

Kutner, J. S., Smith, M. C., Corbin, L., Hemphill, L., Benton, K., Mellis, B. K., Beaty, B., Felton, S., Yamashita, T. E., Bryant, L. L., & Fairclough, D. L. (2008). Massage therapy versus simple touch to improve pain and mood in patients with advanced cancer: A randomized trial. *Annals of Internal Medicine, 149*(6), 369–379. https://doi.org/10.7326/0003-4819-149-6-200809160-00003

Lunney, J. R., Lynn, J., Foley, D. J., Lipson, S., & Guralnik, J. M. (2003). Patterns of functional decline at the end of life. *JAMA, 289*(18), 2387–2392. https://doi.org/10.1001/jama.289.18.2387

Madenoğlu Kıvanç, M. (2017). Türkiye'de palyatif bakım hizmetleri. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi, 4*(2), 132–135. https://doi.org/10.17681/hsp-dergisi.316894

Milbury, K., Chen, A., Li, Y., Liao, Z., Whisenant, M., Mama, S. K., Bentley, J. R., Shannon, V., Yousuf, S., Silva, R. F., Tsao, A. S., Bruera, E., & Cohen, L. (2026). Yoga for patients undergoing

thoracic radiotherapy and their family caregivers: Results of a randomized controlled trial. *JCO Oncology Practice*. Advance online publication. https://doi.org/10.1200/OP-25-01079

National Center for Complementary and Integrative Health. (2021). *Complementary, alternative, or integrative health: What's in a name?* https://www.nccih.nih.gov/health/complementary-alternative-or-integrative-health-whats-in-a-name

Oldervoll, L. M., Loge, J. H., Lydersen, S., Paltiel, H., Asp, M. B., Nygaard, U. V., Oredalen, E., Frantzen, T. L., Lesteberg, I., Amundsen, L., Hjermstad, M. J., Haugen, D. F., Paulsen, Ø., & Kaasa, S. (2011). Physical exercise for cancer patients with advanced disease: A randomized controlled trial. *The Oncologist, 16*(11), 1649–1657. https://doi.org/10.1634/theoncologist.2011-0133

Parry, S. M., & Puthucheary, Z. A. (2015). The impact of extended bed rest on the musculoskeletal system in the critical care environment. *Extreme Physiology & Medicine, 4*, Article 16. https://doi.org/10.1186/s13728-015-0036-7

Pyszora, A., Budzyński, J., Wójcik, A., Prokop, A., & Krajnik, M. (2017). Physiotherapy programme reduces fatigue in patients with advanced cancer receiving palliative care: Randomized controlled trial. *Supportive Care in Cancer, 25*(9), 2899–2908. https://doi.org/10.1007/s00520-017-3742-4

Stone, C. A., Lawlor, P. G., Savva, G. M., Bennett, K., & Kenny, R. A. (2012). Prospective study of falls and risk factors for falls in adults with advanced cancer. *Journal of Clinical Oncology, 30*(17), 2128–2133. https://doi.org/10.1200/JCO.2011.40.7791

Teunissen, S. C., Wesker, W., Kruitwagen, C., de Haes, H. C., Voest, E. E., & de Graeff, A. (2007). Symptom prevalence in patients with incurable cancer: A systematic review. *Journal of Pain and Symptom Management, 34*(1), 94–104. https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2006.10.015

Vanderbyl, B. L., Mayer, M. J., Nash, C., Tran, A. T., Windholz, T., Swanson, T., Kasymjanova, G., & Jagoe, R. T. (2017). A comparison of the effects of medical Qigong and standard exercise therapy on symptoms and quality of life in patients with advanced cancer. *Supportive Care in Cancer, 25*(6), 1749–1758. https://doi.org/10.1007/s00520-017-3579-x

Wang, Y. T., Huang, G., Duke, G., & Yang, Y. (2017). Tai Chi, yoga, and qigong as mind-body exercises. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2017*, Article 8763915. https://doi.org/10.1155/2017/8763915

World Health Organization. (2013). *WHO traditional medicine strategy: 2014–2023*.

World Health Organization. (2020). *Palliative care*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/palliative-care

Zhang, L. L., Wang, S. Z., Chen, H. L., & Yuan, A. Z. (2016). Tai Chi exercise for cancer-related fatigue in patients with lung cancer undergoing chemotherapy: A randomized controlled trial. *Journal of Pain and Symptom Management, 51*(3), 504–511. https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2015.11.020

KARARTMA TEKNİĞİ UYGULAMALARININ ÜSTÜN YETENEKLİ ÖĞRENCİLERİN YAZMA ÖZYETERLİK ALGILARINA ETKİSİ

Prof. Dr. Hasan BAĞCI
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Institute of Educational Sciences, Department of Turkish Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0000-0001-8624-8274
Mehmet KAÇAR
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Institute of Educational Sciences, Department of Turkish Education, 15030, Burdur
ORCID ID: 0009-0007-0891-7285

ÖZET
Dil becerileri arasında en karmaşık bilişsel süreçlerden biri olan yazma, bireyin duygu ve düşüncelerini düzenli biçimde kâğıda dökerek özgün bir kimlik inşa etme sürecidir. Ancak öğrenciler çoğu zaman "beyaz sayfa korkusu", kelime seçememe ve kurgu oluşturamama gibi sorunlar yaşamaktadır. Geleneksel yöntemlerin sonuç odaklı yapısı yazma kaygısını artırmakta ve öğrencilerin yazma özyeterlik algılarını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle çalışmanın amacı, 5E öğretim modeline dayalı karartma (blackout) tekniği uygulamalarının üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algıları üzerindeki etkisini incelemektir. "Bulunmuş şiir" geleneğinin görsel bir yansıması olan karartma tekniği, mevcut bir metinden belirli kelimelerin seçilip geri kalanının karartılmasıyla özgün bir metin oluşturulmasına dayanır. Hazır kelime havuzu sunan bu yöntem, bilişsel yükü ve sıfırdan yazma baskısını azaltmaktadır. Araştırmada "tek gruplu ön test-son test yarı deneysel desen" kullanılmıştır. Çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Burdur ilindeki bir Bilim ve Sanat Merkezinde öğrenim gören 5. sınıf düzeyindeki 28 üstün yetenekli öğrenci oluşturmaktadır. Uygulama, 5E modelinin (Giriş, Keşfetme, Açıklama, Derinleştirme, Değerlendirme) basamaklarına göre tasarlanan 8 haftalık programı kapsamaktadır. "Yaratıcı Yazma Özyeterlik Algısı Ölçeği" ile toplanan veriler, betimsel istatistiklerle (aritmetik ortalama ve standart sapma) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, uygulama öncesi 2,94 (SS=0,68) olan özyeterlik ortalamasının, uygulama sonrasında 1,34 puanlık artışla 4,28'e (SS=0,42) yükseldiği saptanmıştır. Ölçeğin "Yazma Hazırlığı ve Fikir Üretme", "İçerik Oluşturma ve Kurgu", "Dil ve Anlatım Becerisi" ile "Yazma Disiplini ve Israr" alt boyutlarında ön-test ve son-test ortalamaları sırasıyla 2,55-4,45 (+1,90), 2,80-4,10 (+1,30), 3,20-4,25 (+1,05) ve 3,21-4,32 (+1,11) aralığında değişmiştir. Bulgular, uygulamaların üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algılarını önemli ölçüde geliştirdiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Üstün yetenekli öğrenciler, yaratıcı yazma, karartma (blackout) tekniği, 5E öğretim modeli, özyeterlik algısı

THE EFFECT OF BLACKOUT TECHNIQUE APPLICATIONS ON THE WRITING SELF-EFFICACY PERCEPTIONS OF GIFTED STUDENTS

ABSTRACT
Writing is a complex cognitive process in which individuals express their feelings and thoughts in a structured way to build an original identity. However, students often experience "blank page syndrome," difficulty choosing words, and inability to create fiction. The product-oriented nature of traditional methods increases writing anxiety and negatively affects writing self-efficacy perceptions. Therefore, this study aims to examine the effect of 5E instructional model-

based blackout technique applications on the writing self-efficacy perceptions of gifted students. As a visual reflection of the “found poetry” tradition, the blackout technique relies on selecting specific words from an existing text and blackening out the rest to create an original text. By providing a ready-made word pool, this method reduces cognitive load and the pressure of writing from scratch. A quantitative “single-group pre-test/post-test quasi-experimental design” was used in the study. The study group consists of 28 fifth-grade gifted students attending a Science and Arts Center in Burdur during the 2025-2026 academic year. The implementation covers an 8-week program designed according to the 5E model stages (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate). Data collected via the “Creative Writing Self-Efficacy Perception Scale” were analyzed using descriptive statistics (arithmetic mean and standard deviation). Analysis results showed that the pre-test self-efficacy mean of 2.94 (SD=0.68) increased by 1.34 points to 4.28 (SD=0.42) in the post-test. Across the sub-dimensions of “Writing Preparation and Idea Generation,” “Content Creation and Fiction,” “Language and Expression Skill,” and “Writing Discipline and Persistence,” pre-test to post-test means changed from 2.55 to 4.45 (+1.90), 2.80 to 4.10 (+1.30), 3.20 to 4.25 (+1.05), and 3.21 to 4.32 (+1.11), respectively. Findings demonstrate that 5E-based blackout activities significantly improve gifted students' writing self-efficacy perceptions.
Keywords: Gifted students, creative writing, blackout technique, 5E instructional model, self-efficacy perception

1. GİRİŞ

Dil becerileri arasında en karmaşık bilişsel süreçlerden biri olarak kabul edilen yazma, bireyin duygu, düşünce ve hayallerini belirli bir düzen içinde kâğıda dökme becerisidir. Günümüz eğitim anlayışında yazma, sadece dil bilgisi kurallarını uygulamak değil; aynı zamanda bireyin yaratıcılığını kullanarak özgün bir kimlik inşa etme süreci olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda “yaratıcı yazma”, özellikle üstün (özel) yetenekli öğrencilerin zihinsel sınırlarını zorlamasına, zengin sözcük dağarcıklarını işlevsel kılmasına ve estetik bir duyarlılık geliştirmesine olanak tanıyan bir alan olarak önem kazanmaktadır.

Ancak yazma becerisi, öğrenciler tarafından genellikle en zorlayıcı ve kaygı uyandırıcı alan olarak algılanmaktadır. Üstün yetenekli öğrenciler de yüksek bilişsel kapasitelerine ve zengin hayal güçlerine rağmen mükemmeliyetçilik eğilimleri veya yapılandırılmamış görev algıları nedeniyle yazma sürecinde direnç gösterebilmektedir. Bu noktada Bandura (1977) tarafından ortaya atılan özyeterlik kavramı devreye girmektedir. Özyeterlik, bireyin belirli bir görevi başarıyla yerine getirebileceğine dair kendi yeteneklerine olan inancıdır. Yazma sürecinde yüksek özyeterliğe sahip öğrencilerin daha cesur adımlar attığı, daha karmaşık yapılar kurabildiği ve yazma görevlerine karşı daha yüksek motivasyon gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle, eğitim ortamlarında üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterliklerini artıracak yenilikçi yöntemlerin kullanılması bir gereklilik hâline gelmiştir.

1.1. Problem Durumu

Türkçe öğretimi ve destek eğitim programlarında yaratıcı yazma becerisinin geliştirilmesi hedeflenmesine rağmen, uygulamada pek çok sorunla karşılaşılmaktadır. Öğrencilerin büyük bir çoğunluğu, beyaz bir kâğıtla karşı karşıya kaldıklarında ne yazacaklarını bilememe (“beyaz sayfa korkusu”), kelime seçimi yapamama ve kurgu oluşturamama gibi problemler yaşamaktadır. Geleneksel yazma yöntemleri genellikle sonuç odaklı olduğu ve öğrenciye yapılandırılmış bir destek sunmadığı için öğrencilerin yazma kaygısını artırmakta ve dolayısıyla yazma özyeterlik algılarını olumsuz etkilemektedir.

Bu noktada, yazma sürecini daha erişilebilir ve eğlenceli kılan Karartma (Blackout) Tekniği

dikkat çekici bir çözüm sunmaktadır. Karartma tekniği, öğrenciye tamamen boş bir sayfa sunmak yerine, mevcut bir metin içerisinden kelimeler seçtirerek yeni bir anlam yaratmasına olanak tanır. Bu yöntem, bilişsel yükü azaltarak öğrencinin "yoktan var etme" baskısını üzerinden atmasını sağlar.

Ancak, tek başına bir teknik yeterli olmayabilir; bu tekniğin pedagojik bir çerçeveye oturtulması gerekmektedir. 5E Öğretim Modeli (Giriş, Keşfetme, Açıklama, Derinleştirme, Değerlendirme), yapılandırmacı öğrenme kuramının en etkili modellerinden biri olarak öğrenciyi adım adım bir keşif yolculuğuna çıkarır. Alanyazın incelendiğinde, 5E modeli ile Karartma tekniğinin birleştirilerek üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterliği üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, "5E modeline dayalı Karartma tekniği uygulamalarının, üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algıları üzerinde nasıl bir etkisi vardır?" temel sorusuna yanıt aramaktadır. Bu amaçla hazırlanan etkinliklerin, üstün yetenekli öğrencilerin yazma sürecindeki dirençlerini kırıp kıramayacağı ve kendilerine olan güvenlerini artırıp artırmayacağı araştırmanın temel problemini oluşturmaktadır.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın temel amacı, üstün yetenekli öğrencilerin yaratıcı yazma sürecinde karşılaştıkları engelleri aşmalarına yardımcı olmak amacıyla 5E öğretim modeli temelli karartma (blackout) tekniği etkinlikleri tasarlamak ve bu uygulamaların öğrencilerin yazma özyeterlik algıları üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu temel amaç doğrultusunda şu sorulara yanıt aranmıştır:

1. 5E modeline dayalı karartma tekniği etkinlikleri uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algı puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?
2. Tasarlanan etkinlikler üstün yetenekli öğrencilerin "yazma kaygısı" ve "beyaz sayfa korkusu" üzerinde nasıl bir değişim yaratmaktadır?

Bu çalışma, alanyazında dört temel açıdan özgün bir değer taşımaktadır: (1) Disiplinlerarası Yaklaşım: Görsel sanatlar ile edebiyatı birleştiren karartma tekniğinin, yapılandırmacı bir model olan 5E ile sistemli hâle getirilmesi, Türkçe öğretimi ve üstün yetenekliler eğitimi için yenilikçi bir model sunmaktadır. (2) Özyeterlik Odaklılık: Yazma eğitiminde genellikle "ürün" (yazılan metin) değerlendirilirken, bu çalışma "sürece" ve öğrencinin "psikolojik hazırbulunuşluğuna" (özyeterlik) odaklanarak öğrenci merkezli bir yaklaşım sergilemektedir. (3) Uygulama Kolaylığı: Yazma sürecinde başlangıç direnci veya beyaz sayfa korkusu yaşayan öğrenciler için karartma tekniği, "bulunmuş metin" üzerinden ilerlediği için bilişsel yükü azaltan bir köprü görevi görmektedir. (4) Öğretmenler İçin Rehber: Çalışma kapsamında hazırlanan 8 haftalık etkinlik planı, Bilim ve Sanat Merkezlerinde (BİLSEM) ve Türkçe derslerinde doğrudan kullanılabilecek somut bir materyal seti sunmaktadır.

1.3. Varsayımlar ve Sınırlılıklar

Araştırmaya katılan üstün yetenekli öğrencilerin özyeterlik ölçeklerine verdikleri cevaplarda içten ve dürüst oldukları varsayılmakta; tasarlanan 8 etkinliğin 5E modelinin tüm basamaklarını temsil ettiği kabul edilmektedir. Çalışma, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Burdur ili sınırları içinde bir Bilim ve Sanat Merkezinde (BİLSEM) öğrenim gören 5. sınıf düzeyindeki 28 üstün yetenekli öğrenci, 8 haftalık uygulama süresi ve karartma tekniği özelinde yazma özyeterliği değişkeni ile sınırlıdır.

1.4. Kuramsal Çerçeve ve İlgili Çalışmalar

1.4.1. Özyeterlik Algısı ve Yazma Becerisi İlişkisi

Sosyal Bilişsel Kuram'ın merkezinde yer alan özyeterlik, bireyin bir işi başarmak için gerekli olan organize etme ve uygulama kapasitesine yönelik inancını temsil eder (Bandura 1997). Özyeterlik inancı yüksek olan bireyler, karşılaştıkları zorlukları aşılması gereken birer engel

olarak görürken; düşük özyeterliğe sahip bireyler bu durumları kişisel bir yetersizlik olarak algılayıp görevden kaçınma eğilimi gösterirler (Bandura 1986; Pajares 2003). Bandura'ya göre özyeterliğin en güçlü kaynağı "doğrudan deneyimler"dir. Başarılı bir performans, bireyin gelecekteki benzer görevlere yönelik inancını pekiştirirken; başarısızlık deneyimi, özellikle bu deneyim sürecin başındaysa özyeterliği zayıflatmaktadır.

Yazma özyeterliği; öğrencinin dil bilgisi kurallarını kullanma, fikir üretme ve metin yapısını düzenleme gibi alt görevlerde kendisini ne kadar yetkin gördüğüdür. Alanyazında yazma özyeterliği, öğrencinin akademik başarısının ve yazma performansının en güçlü yordayıcılarından biri olarak kabul edilir (Graham, Harris ve Mason, 2005). Yazma eylemi, planlama, taslak oluşturma ve düzenleme gibi yoğun bir bilişsel süreç gerektirir. Çakır Yıldız (2025) çalışmasında belirttiği üzere, yazma sürecindeki bilişsel yükün yönetilememesi öğrencide "yazma kaygısına" yol açmaktadır. Kaygı seviyesi arttıkça, öğrencinin süreci yönetebileceğine dair duyduğu özyeterlik inancı azalmakta ve bu durum yazma becerisinde bir direnç oluşturmaktadır.

Yaratıcı yazma uygulamaları, öğrencilerin sadece teknik değil, aynı zamanda duyuşsal özelliklerini de (tutum, ilgi, kaygı) işe koştuğu bir süreçtir. Taş (2025) ve Beydemir (2010) yaptıkları çalışmalarda, yaratıcı yazma etkinliklerinin öğrencilerin yazmaya yönelik tutumlarını olumlu yönde etkilediğini vurgulamışlardır. Tutumdaki bu olumlu değişim, öğrencinin yazma görevlerine karşı daha "gönüllü" olmasını sağlayarak Bandura'nın belirttiği "başarılı performans deneyimlerinin" önünü açmaktadır. Toslu (2025) ise Karartma (Blackout) tekniğinin, öğrencilerin "ne yazacağım?" endişesini ortadan kaldırarak yaratıcı yazma tutumunu geliştirdiğini saptamıştır. Bu durum özyeterlik kuramı açısından değerlendirildiğinde; karartma tekniği, öğrenciye hazır bir kelime havuzu sunarak yazma sürecindeki "belirsizliği" azaltmakta ve öğrencinin küçük adımlarla başarıyı deneyimlemesini sağlayarak özyeterlik algısını güçlendirmektedir (Çakır Yıldız 2025; Toslu 2025).

1.4.2. 5E Öğretim Modeli ve Yazma Sürecine Uyarlanması

Yapılandırmacı (constructivist) öğrenme kuramı, bilginin pasif bir şekilde alınmadığını, aksine bireyin ön bilgileri ile yeni deneyimlerini ilişkilendirerek bilgiyi zihninde aktif olarak inşa ettiğini savunur (Piaget 1970; Vygotsky 1978). Çakır Yıldız (2025), yaratıcı yazma sürecinin doğası gereği yapılandırmacı bir süreç olduğunu; öğrencinin kendi anlam dünyasını metne yansıtabilmesi için aşamalı bir desteğe ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Bybee (1997) tarafından geliştirilen 5E Öğretim Modeli, yapılandırmacı kuramın sınıfa uygulanmasını sağlayan; Giriş (Engage), Keşfetme (Explore), Açıklama (Explain), Derinleştirme (Elaborate) ve Değerlendirme (Evaluate) aşamalarından oluşan döngüsel bir modeldir:

• Giriş (Engage/Enter): Temel amaç, öğrencilerin dikkatini çekmek ve ön bilgilerini harekete geçirmektir. Yazma derslerinde "beyaz sayfa korkusunu" kırmak için merak uyandırıcı görseller, sorular veya tamamlanmış karartma şiiri örnekleri sunulur (Taş 2025).

• Keşfetme (Explore): Öğrenciler materyalle (gazete kupürü, kitap sayfası vb.) doğrudan etkileşime girer. Öğretmen bu aşamada bilgi veren değil, kolaylaştırıcı (facilitator) rolündedir. Öğrenci, karartma tekniğiyle kelimeleri seçerken dili ve anlamı kendi başına keşfeder.

• Açıklama (Explain): Keşif aşamasındaki deneyimler tanımlanır. Öğrencinin sezgisel olarak yaptığı "kelime seçme ve karartma" eylemi; "karakter taslağı", "çatışma" veya "tema" gibi akademik kavramlarla bu aşamada ilişkilendirilir.

• Derinleştirme (Elaborate): Öğrenci edindiği yeni bilgiyi ve tekniği daha karmaşık bir duruma uygular. Karartılan metinden yola çıkarak bir hikâye paragrafı yazılması, 5E modelinin "bilgiyi yeni duruma transfer etme" ilkesiyle örtüşmektedir (Beydemir 2010).

• Değerlendirme (Evaluate): Hem süreç hem de ürün değerlendirilir. Öğrencinin kendi

gelişimini fark etmesi (öz değerlendirme), Bandura'nın özyeterlik kuramındaki "doğrudan deneyimler" kaynağını besleyerek "başardım" duygusunu pekiştirir.
5E modeli, öğrenciyi aniden büyük ve zor bir görevle (örn. "Hadi bir hikâye yaz") karşı karşıya bırakmaz. Bunun yerine süreci parçalara ayırarak öğrencinin her adımda başarıyı tatmasını sağlar. Toslu (2025), karartma tekniğinin aşamalı olarak sunulmasının öğrencilerin yazma kaygısını azalttığını ifade etmiştir. Bu aşamalı yapı, öğrencinin bilişsel yükünü hafifletmekte ve her basamakta sağlanan başarı hissi, bireyin yazma özyeterlik algısını doğrudan yükseltmektedir.

1.4.3. Karartma (Blackout) Tekniği

Karartma (Blackout) tekniği, mevcut bir metin sayfası (gazete, dergi, kitap sayfası vb.) üzerinden belirli kelimelerin seçilerek geri kalanının siyah bir kalemle karartılması ve bu sayede yeni, özgün ve şiirsel bir metin oluşturulması esasına dayanan yaratıcı bir yazma yöntemidir. Bu teknik, edebiyat dünyasında "bulunmuş şiir" geleneğinin modern ve görsel bir yansıması olarak kabul edilir (Toslu 2025). Tekniğin modern dönemdeki popülerliği, yazar Austin Kleon'un "Gazete Şiirleri" (Newspaper Blackout) çalışmalarıyla artmıştır. Kleon (2010), bu yöntemi sadece bir yazma tekniği değil, aynı zamanda bir "yaratıcı eksiltme" süreci olarak tanımlar. Yazara göre yaratıcılık her zaman "yoktan var etmek" değil, bazen de "var olanın içindeki fazlalıkları ayıklamak" ile ilgilidir.
Karartma tekniği uygulaması genellikle üç temel aşamadan oluşmaktadır: (1) Tarama ve Seçme: Öğrenciye sunulan metin sayfası hızlıca okunur ve anlamlı bir bütün oluşturabilecek anahtar kelimeler işaretlenir. (2) Karartma (İmha Etme): Seçilen kelimeler dışında kalan tüm metin siyah kalemlerle kapatılır; bu aşama öğrenciye metin üzerinde görsel bir hâkimiyet kurma imkânı verir. (3) Anlam İnşası: Ortaya çıkan yeni metin, orijinal metinden tamamen bağımsız, özgün bir şiir veya ifade niteliği taşır. Toslu (2025), bu sürecin sadece edebî bir üretim değil, aynı zamanda görsel bir sanat etkinliği olduğunu; karalanan alanların desenlerle veya çizimlerle süslenmesinin öğrencinin estetik zevkini de geliştirdiğini belirtmektedir.
Çakır Yıldız (2025) ve Toslu (2025), bu tekniğin eğitsel avantajlarını dört başlıkta sıralamaktadır: Bilişsel yükün azaltılması (hazır kelime havuzu sayesinde "ne yazacağı" endişesinden kurtulup "anlamı nasıl kuracağına" odaklanma), sözcük dağarcığının aktif kullanımı (kelimeleri yeni bağlamlarda kullanarak dilsel farkındalık kazanma), özyeterlik algısının güçlenmesi (Bandura 1997'de vurgulanan doğrudan başarı deneyimiyle kontrolün kendisinde olduğunu fark etme) ve yazma kaygısının giderilmesi (hataya yer bırakan oyunsu yapısıyla olumsuz tutum ve direnci azaltma). Sonuç olarak Karartma tekniği, yazma sürecine duyuşsal bir giriş kapısı açarak üstün yetenekli öğrencilerin kendilerini birer "kelime avcısı" veya "sanatçı" olarak görmelerini sağlamaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırmada, 5E modeline dayalı karartma tekniği uygulamalarının üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algılarına etkisini belirlemek amacıyla nicel araştırma yöntemlerinden "Tek Gruplu Ön Test-Son Test Yarı Deneysel Desen" kullanılmıştır. Bu desende, deneysel işlem öncesinde katılımcılara bağımlı değişkene (özyeterlik) ilişkin bir ölçme aracı uygulanır; ardından deneysel müdahale (8 haftalık program) gerçekleştirilir ve işlem sonunda aynı ölçme aracı tekrar uygulanarak aradaki fark incelenir (Fraenkel, Wallen ve Hyun, 2012).

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Burdur ilindeki bir Bilim ve Sanat Merkezinde (BİLSEM) öğrenim gören 5. sınıf düzeyindeki toplam 28 üstün (özel)

yetenekli öğrenci oluşturmaktadır. Çalışma grubunun seçiminde, uygulamanın yapılacağı sınıfa erişim kolaylığı ve araştırmacının kurumda görev yapması esas alındığı için "Uygun Örnekleme" yöntemi tercih edilmiştir.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri toplama aracı olarak "Yaratıcı Yazma Özyeterlik Algısı Ölçeği" (Yazma Öz-Yeterlik Ölçeği) kullanılmıştır. Ölçek, öğrencilerin yazma sürecindeki farklı aşamalarda (yazma hazırlığı ve fikir üretme, içerik oluşturma ve kurgu, dil ve anlatım becerisi, yazma disiplini ve ısrar) kendilerini ne derece yeterli gördüklerini ölçen maddelerden oluşmaktadır. Ölçeğin güvenirlik ve geçerlik çalışmaları alanyazındaki benzer çalışmalardan (örn. Çakır Yıldız 2025) hareketle kontrol edilmiş ve ön test-son test verileri üzerinden iç tutarlılık (Cronbach's Alpha) katsayısı hesaplanmıştır.

2.4. Uygulama Süreci: 5E Modeline Dayalı Karartma Tekniği Programı

Araştırma süreci toplam 8 haftalık bir uygulama dilimini kapsamaktadır. Her hafta yapılan etkinlikler 5E öğretim modelinin (Giriş, Keşfetme, Açıklama, Derinleştirme, Değerlendirme) basamaklarına uygun olarak yürütülmüştür. Uygulama planının haftalık dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. 8 haftalık uygulama planı özeti

Hafta	Etkinlik Adı	5E Odağı ve Amacı	Özyeterlik Kaynağı
1.	Teknikle Tanışma	Giriş: Ön test uygulaması ve tekniğin keşfi.	Doğrudan Deneyim
2.	Tematik Karartma	Keşfetme: Duygu odaklı kelime seçimi.	Duyuşsal Durum Kontrolü
3.	Karakter ve Mekân	Açıklama: Betimleyici unsurları metinden çıkarma.	Bilişsel Modelleme
4.	Olay Örgüsü	Keşfetme: Aksiyon bildiren fiillerin tespiti.	Doğrudan Deneyim
5.	Karakterin Sesi	Açıklama: Diyalog ve iç ses kurgulama.	Sosyal İkna
6.	Çatışma ve Problem	Derinleştirme: Metne engelleyici unsurlar ekleme.	Bilişsel Zorlukla Baş Etme
7.	Yükselen Eylem	Derinleştirme: Hikâyeyi finale taşıma.	Israr ve Çaba
8.	Final ve Değerlendirme	Değerlendirme: Son test ve genel yansıtma.	Başarıyı Kutlama

Uygulama sürecinde her etkinlikte üstün yetenekli öğrencilere "bulunmuş metin" (blackout materyalleri) sağlanmış, öğrencilerin sıfırdan yazma baskısı hissetmeden (kaygı yönetimi) kendi özgün metinlerini inşa etmelerine rehberlik edilmiştir (Toslu 2025).

2.5. Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında "Yaratıcı Yazma Özyeterlik Algısı Ölçeği" aracılığıyla toplanan nicel veriler, istatistik paket programı (SPSS) kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada betimsel istatistiksel yöntemler tercih edilmiş ve üç aşamalı bir analiz süreci izlenmiştir: (1) Betimsel İstatistiklerin Hesaplanması: Öğrencilerin uygulama öncesi (ön-test) ve uygulama sonrası (son-test) özyeterlik algısı puanlarının aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. (2) Puan Karşılaştırması: 5E modeline dayalı 8 haftalık karartma tekniği programının etkisini belirlemek amacıyla, son-test aritmetik ortalama puanları ile ön-test aritmetik ortalama puanları arasındaki farklar incelenmiştir. (3) Alt Boyut Analizi: Elde edilen aritmetik ortalamalar, her bir özyeterlik alt boyutu (hazırlık ve fikir üretme, içerik oluşturma ve kurgu, dil ve anlatım

becerisi, yazma disiplini ve ısrar) bazında tablolaştırılarak yorumlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yazma Özyeterlik Algısı Ön-Test ve Son-Test Puanlarına İlişkin Bulgular

5E modeline dayalı 8 haftalık karartma tekniği uygulamasına katılan 28 üstün yetenekli öğrencinin uygulama öncesi ve sonrası özyeterlik algılarındaki değişimi genel düzeyde görmek amacıyla hesaplanan aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Özyeterlik algısı ön-test ve son-test betimsel istatistikleri

Ölçüm Zamanı	N	X̄ (Ortalama)	SS	Min.	Maks.
Ön-Test	28	2,94	0,68	1,80	3,90
Son-Test	28	4,28	0,42	3,50	5,00

Tablo 2 incelendiğinde; 28 üstün yetenekli öğrenciden oluşan çalışma grubunun uygulama öncesi yazma özyeterlik algısı ortalamasının 2,94 (SS=0,68; orta düzey) olduğu görülmektedir. 8 haftalık karartma tekniği programı tamamlandıktan sonra yapılan son-test ölçümünde ise bu ortalamanın 4,28 (SS=0,42; yüksek düzey) seviyesine yükseldiği saptanmıştır. İki ölçüm arasındaki 1,34 puanlık artış ve standart sapmadaki düşüş (0,68'den 0,42'ye), uygulanan programın üstün yetenekli öğrencilerin yazma becerilerine yönelik öz inançlarını homojen ve güçlü bir biçimde geliştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

3.2. Özyeterlik Algısı Alt Boyutlarına İlişkin Karşılaştırmalar

Üstün yetenekli öğrencilerin yazma sürecinin farklı aşamalarındaki yeterlik algılarını daha detaylı incelemek için ölçeğin alt boyutlarındaki puan değişimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Özyeterlik algısı alt boyutları puan dağılımı

Alt Boyutlar	Ön-Test	Son-Test	Fark
Yazma Hazırlığı ve Fikir Üretme	2,55	4,45	+1,90
İçerik Oluşturma ve Kurgu	2,80	4,10	+1,30
Dil ve Anlatım Becerisi	3,20	4,25	+1,05
Yazma Disiplini ve Israr	3,21	4,32	+1,11

Tablo 3 verilerine göre, en yüksek artışın +1,90 puan ile "Yazma Hazırlığı ve Fikir Üretme" boyutunda (ön-test: 2,55; son-test: 4,45) gerçekleştiği görülmektedir. Bunu sırasıyla +1,30 puan ile "İçerik Oluşturma ve Kurgu" (ön-test: 2,80; son-test: 4,10), +1,11 puan ile "Yazma Disiplini ve Israr" (ön-test: 3,21; son-test: 4,32) ve +1,05 puan ile "Dil ve Anlatım Becerisi" (ön-test: 3,20; son-test: 4,25) boyutları izlemiştir. Bu bulgu, karartma tekniğinin üstün yetenekli öğrencilere hazır bir kelime havuzu sunarak "başlangıç aşamasındaki" zihinsel engelleri ve beyaz sayfa korkusunu önemli ölçüde giderdiği şeklinde yorumlanabilir. Toslu (2025)'nun çalışmasında da vurgulandığı üzere, tekniğin sağladığı "kelime avcılığı" motivasyonu, öğrencilerin en çok fikir üretme aşamasındaki dirençlerini kırmaktadır.

3.3. Süreç Odaklı Gözlemler ve Ürün Analizi

Nicel verilerin yanı sıra, 8 haftalık süreçte üstün yetenekli öğrencilerin ortaya koyduğu ürünler (EK-1) üzerinde yapılan süreç odaklı gözlemler nicel bulguları desteklemektedir:

• 1-2. Haftalarda: Öğrencilerin mevcut metin sayfası üzerinde karalama yaparken tereddüt ettikleri, hata yapma çekincesi yaşadıkları ve az sayıda kelime seçtikleri gözlemlenmiştir.

• 5-6. Haftalarda (Diyalog ve Çatışma aşaması): Öğrencilerin metin içinde daha karmaşık ve derin anlamlar aradıkları, karartma alanlarını özgün görsel çizimlerle (ağaç, güneş, deniz altı, yıldız motifleri vb.) süsleyerek metni sahiplendikleri görülmüştür.

• 8. Haftada: Öğrencilerin yazma eylemine karşı geliştirdikleri "yapamam" bariyerinin

yıkıldığı, seçilen kelimelerden bağımsız olarak kendi hikâye paragraflarını daha akıcı ve özgüvenli bir şekilde inşa ettikleri tespit edilmiştir.

3.4. Tartışma

Araştırma sonucunda 28 üstün yetenekli öğrenciden oluşan çalışma grubunun yazma özyeterlik algısı puanlarında 1,34 puanlık anlamlı bir artış saptanmıştır (Ön-test: 2,94; Son-test: 4,28). Bu bulgu, yaratıcı yazma etkinliklerinin öğrencilerin yazmaya yönelik öz inançlarını geliştirdiğini savunan Taş (2025) ve Beydemir (2010)'in çalışmalarıyla örtüşmektedir. Özellikle "Yazma Hazırlığı ve Fikir Üretme" boyutundaki yüksek artış (+1,90), karartma tekniğinin üstün yetenekli öğrencilerin zihnindeki "başlangıç ve mükemmeliyetçilik engellerini" aşmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Toslu (2025), karartma tekniğinin öğrencilerin "ne yazacağım?" korkusunu gidererek onlara güvenli bir hareket alanı sağladığını belirtmiştir. Bu durum, Bandura'nın (1997) özyeterlik kuramındaki "doğrudan başarı deneyimleri" kaynağını doğrulamaktadır; öğrenci metinden kelimeleri başarıyla kurtardıkça "yapabiliyorum" inancı pekişmiştir.

Çakır Yıldız (2025)'in çalışmasında vurguladığı "yazma kaygısının azalması" durumu, bu çalışmada da gözlemlenmiştir. Karartma tekniği, öğrenciyi sıfırdan metin üretme yükünden kurtararak bilişsel yükü hafifletmiş, bu da özyeterliği besleyen duyuşsal durumun (kaygının azalması) iyileşmesini sağlamıştır. Ayrıca 5E modelinin aşamalı yapısı (özellikle "Derinleştirme" aşamasındaki paragraf yazımı), üstün yetenekli öğrencinin başarısını basit bir kelime avcılığından karmaşık bir hikâye inşasına taşımıştır. Bu kademeli zorluk artışı, öğrencinin yazma disiplinine yönelik özyeterliğini (+1,11 puan) olumlu etkilemiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda; 5E modeline dayalı 8 haftalık karartma tekniği programının, üstün yetenekli öğrencilerin yazma özyeterlik algılarını orta düzeyden (2,94) yüksek düzeye (4,28) çıkardığı sonucuna ulaşılmıştır. Karartma tekniği, öğrencilerin en çok zorlandığı "fikir üretme" ve "yazmaya başlama" aşamalarında güçlü bir motivasyon kaynağı olmuştur. Öğrenciler, 5E modelinin sağladığı yapılandırılmış iskele kurma (scaffolding) desteği sayesinde, kelimeden cümleye, cümleden kurgusal paragrafa geçiş yapabildiklerini görmüş ve yazma sürecindeki kontrollerini artırmışlardır.

Araştırma sonuçları doğrultusunda uygulamaya ve gelecek araştırmalara yönelik şu öneriler geliştirilmiştir:

- Bilim ve Sanat Merkezlerinde (BİLSEM) ve Türkçe derslerinde "beyaz sayfa korkusu" veya yazmaya başlama direnci yaşayan üstün yetenekli öğrenciler için karartma tekniği bir ısınma ve motivasyon etkinliği olarak kullanılmalıdır.
- Öğretmenler, karartma etkinliklerini 5E modeli gibi öğretim modelleriyle birleştirerek, süreci sadece bir karalama oyunundan akademik ve kurgusal bir yazma becerisine dönüştürmelidir.
- Öğrencilerin yarattığı görsel metinler (karartma şiirleri ve öyküleri) sınıf ve kurum panolarında sergilenerek Bandura'nın belirttiği "sosyal ikna" kaynağı aktif hâle getirilmelidir.
- Gelecek çalışmalarda, karartma tekniğinin farklı tanı gruplarındaki ve sınıf düzeylerindeki özel yetenekli öğrencilerde özyeterlik dışındaki değişkenler (yazma tutumu, yazma kaygısı, yaratıcı yazma başarısı) üzerindeki etkisi incelenebilir; ayrıca nitel görüşmelerle desteklenen karma yöntemli araştırmalar tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.

Beydemir, A. (2010). *İlköğretim 5. sınıf Türkçe dersinde yaratıcı yazma yaklaşımının yazmaya yönelik tutumlara, yaratıcı yazma ve yazma erişisine etkisi* [Yüksek lisans tezi], Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Heinemann.

Çakır Yıldız, A. (2025). *İlkokul 4. sınıf Türkçe dersinde yaratıcı yazma uygulamalarının öğrencilerin yazma kaygısı ve yaratıcı yazma becerileri üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi], Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8. bs.). McGraw-Hill.

Graham, S., Harris, K. R., & Mason, L. (2005). Improving the writing performance, knowledge, and self-efficacy of struggling young writers: The effects of self-regulated strategy development. *Contemporary Educational Psychology*, *30*(2), 207–241. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2004.08.001

Kleon, A. (2010). *Newspaper blackout*. Harper Perennial.

Pajares, F. (2003). Self-efficacy beliefs, motivation, and achievement in writing: A review of the literature. *Reading & Writing Quarterly*, *19*(2), 139–158. https://doi.org/10.1080/10573560308222

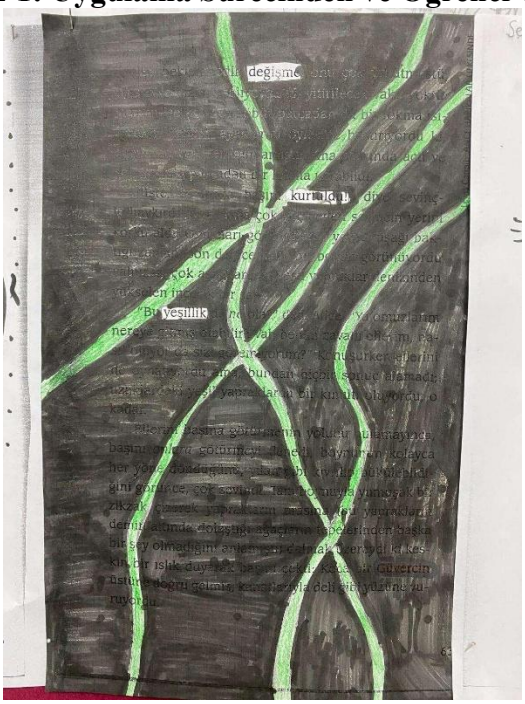
Piaget, J. (1970). *The science of education and the psychology of the child*. Orion Press.

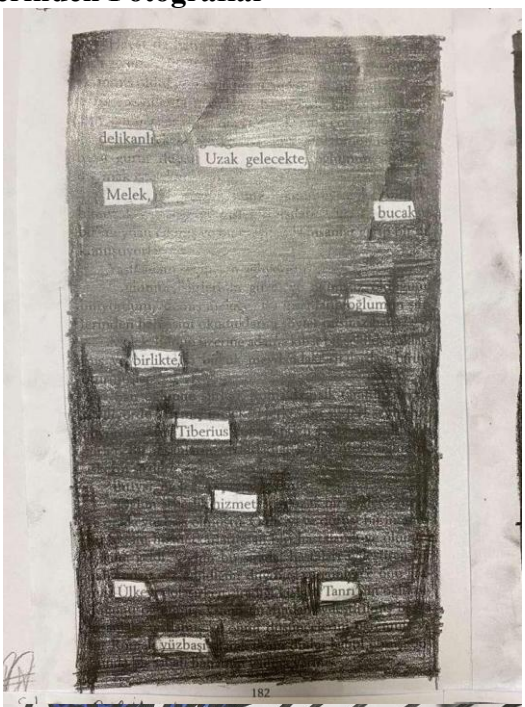
Taş, F. (2025). *Yaratıcı yazma etkinliklerinin ilkokul 4. sınıf öğrencilerinin yazmaya olan tutumuna ve yaratıcı yazma becerisine etkisi* [Yüksek lisans tezi], Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

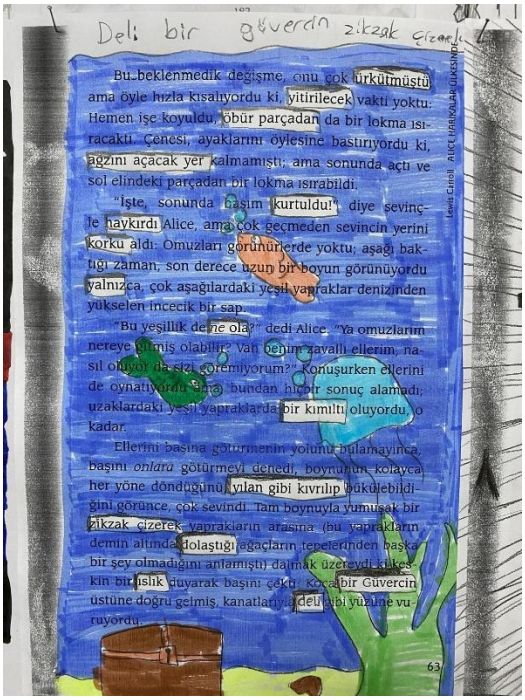
Toslu, H. (2025). *Yabancılara Türkçe öğretiminde karartma (blackout) tekniğinin öğrencilerin yaratıcı yazma tutumuna etkisi* [Yüksek lisans tezi], Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

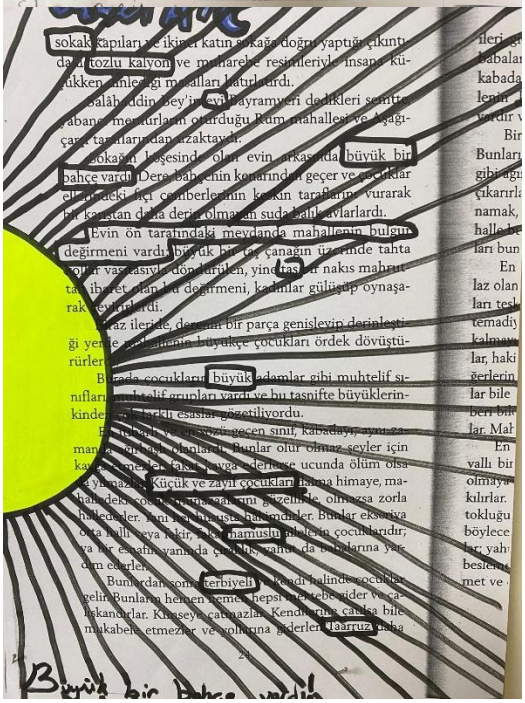
Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

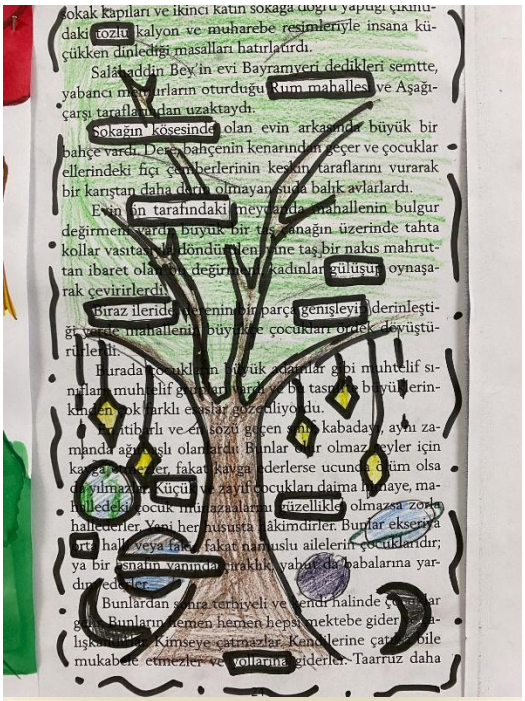
EK-1: Uygulama Sürecinden ve Öğrenci Ürünlerinden Fotoğraflar











sokak kapıları ve ikinci katın sokağa doğru yapılı çıkıntı-
daki tozlu kalyon ve muharebe resimleriyle insana kü-
çükken dinlediği masalları hatırlatırdı.

Salâhaddin Bey'in evi Bayramyeri dedikleri semtte,
yabancı memurların oturduğu Rum mahallesi ve Aşağı-
çarşı taraflarından uzaktaydı.

Sokağın köşesinde olan evin arkasında büyük bir
bahçe vardı. Dere bahçenin kenarından geçer ve çocuklar
ellerindeki fiçi çemberlerinin kesim taraflarını vurarak
bir karıştan daha derin olmayan suda balık avlarlardı.

Evin ön tarafındaki meydanda mahallenin bulgur
değirmeni vardı. Büyük bir taş sanağın üzerinde tahta
kollar vasıtasıyla döndürülen ince taş bir nakış mahrut-
tan ibaret olan değirmende kadınlar gülüşüp oynaşa-
rak çevirirlerdi.

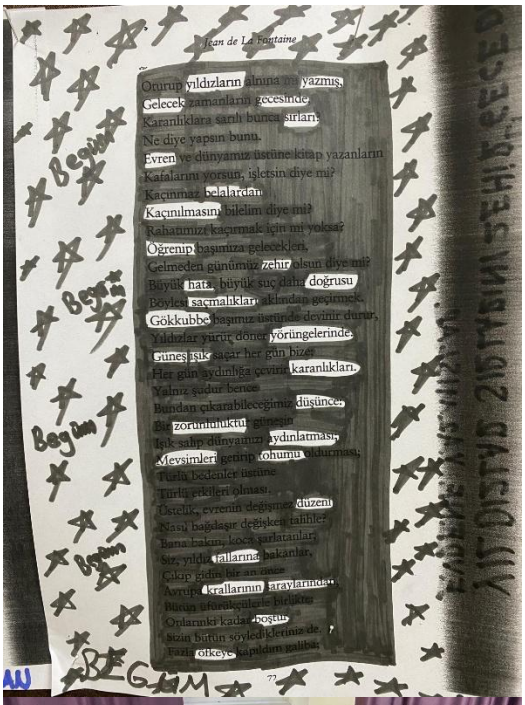
Biraz ileride evlerinin parçaları genişleyip derinleşti-
ği yerde mahalleli büyükler çocukları örnek devüştü-
rürlerdi.

Burada çocukların büyük dağlar gibi muhtelif sı-
nıflara muhtelif gözüyle bakıyor, bu taşlık büyülerin-
kinden çok farklı esaslar güzetiliyordu.

Kabadayı, itibarlı ve ön sözü geçen adam kabadayı, aynı za-
manda ağa, paşalı olanlardır. Bunlar çok olmaz, böyle şeyler için
kavga etmezler, fakat kavga ederlerse ucunda ölüm olsa
da yılmazlar. Küçük ve zayıf çocukları daima himaye, ma-
hallelerdeki çocuk münazaalarını güzellikle olmazsa zor-
la halledenler. Yani her hususta hâkimdirler. Bunlar ekseriya
[illegible] halli veya fakir fakat namuslu ailelerin çocuklarıdır;
ya bir esnafın yanında çıraklık yahut da babalarına yar-
dım ederler.

Bunlardan sonra tahsilli ve şimdi halinde çocuklar
gelir. Bunların hemen hemen hepsi mektebe gider, ba-
lışkanlık, kimseye çatmazlar. Kendilerine çatılsa bile
mukabele etmezler ve yollarına giderler. Taarruz daha







SAĞLIK TURİZMİNDE DİJİTAL MAHREMİYET VE KİŞİSEL SAĞLIK VERİLERİNİN KORUNMASI

Yüksek Lisans Öğrencisi Murat Lütfullah DEMİRCİ
SCÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Sağlık Turizmi İşletmeciliği (Disiplinlerarası) Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0007-8497-3203
Doç. Dr. Nurperihan TOSUN
SCÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı

ÖZET
Sağlık turizminde dijitalleşmenin yaygınlaşması, uluslararası hastaların sağlık hizmetlerine erişimini kolaylaştırırken kişisel sağlık verilerinin korunması ve dijital mahremiyetin sağlanması konusunda çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Hastalara ait sağlık bilgilerinin dijital ortamlarda toplanması, saklanması ve ülkeler arasında aktarılması; yetkisiz erişim, veri güvenliği ihlalleri ve izinsiz paylaşım gibi riskler doğurabilmektedir. Bu çalışma, sağlık turizminde dijital mahremiyetin önemini ve kişisel sağlık verilerinin korunmasına ilişkin hukuki, etik ve teknolojik gereklilikleri incelemeyi amaçlamaktadır.
Araştırmada literatür taraması yöntemi kullanılmış; konuyla ilgili ulusal ve uluslararası akademik yayınlar ile yasal düzenlemeler değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda, dijital mahremiyetin korunmasının yalnızca teknik güvenlik önlemleriyle sınırlı olmadığı, aynı zamanda hukuki yükümlülüklerin yerine getirilmesini, etik ilkelerin benimsenmesini ve hastaların bilgilendirilmesini gerektirdiği görülmüştür. Türkiye'de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, kişisel sağlık verilerinin korunması açısından temel bir hukuki çerçeve sunmaktadır. Ayrıca sağlık kuruluşları ve aracı kurumlar arasındaki veri paylaşımının şeffaf biçimde yürütülmesi, hasta güveninin artırılması açısından önem taşımaktadır. Sonuç olarak sağlık kuruluşlarının veri güvenliği önlemlerini güçlendirmesi, uluslararası veri aktarım süreçlerini mevzuata uygun yürütmesi ve hasta mahremiyetini esas alan politikalar geliştirmesi tavsiye edilmektedir. Bunun yanında çalışanlara yönelik veri koruma eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve dijital sistemlerin düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Sağlık turizmi, dijital mahremiyet, kişisel sağlık verileri, veri güvenliği, kişisel verilerin korunması.

DIGITAL PRIVACY AND THE PROTECTION OF PERSONAL HEALTH DATA IN HEALTH TOURISM

ABSTRACT
The aim of this study is to examine digital privacy and the protection of personal health data in health tourism from legal, ethical, and technological perspectives. Although the integration of digital technologies into health tourism facilitates international patients' access to healthcare services, it also increases the collection, storage, processing, and cross-border transfer of personal health data. Consequently, ensuring data security and protecting privacy have become significant challenges in health tourism. This study adopts a literature review methodology, examining national and international academic publications, scholarly articles, and relevant legal regulations. The findings are evaluated within the framework of data security, legal requirements, and ethical responsibilities. The review identifies several major risks to digital privacy, including unauthorized access, data breaches, the unauthorized disclosure of personal health information, and inadequate patient awareness of data processing practices. In Türkiye, Personal Data Protection Law No. 6698 provides the fundamental legal framework for the

protection of personal health data. However, cross-border data transfers and differences in data protection regulations and practices across countries may create additional challenges. In this regard, healthcare institutions should strengthen technical and organizational security measures, implement appropriate access control mechanisms, establish transparent data processing policies, and ensure that patients receive clear and comprehensible information about the collection, processing, and use of their personal data. In conclusion, the protection of digital privacy is essential for maintaining patient trust, improving the quality of healthcare services, and promoting the sustainable development of health tourism.
Keywords: Health tourism, digital privacy, personal health data, data security, personal data protection.

1. GİRİŞ

Sağlık turizmi, bireylerin sağlıklarını korumak, geliştirmek veya sağlık sorunlarına çözüm bulmak amacıyla farklı bölge ya da ülkelere seyahat etmelerini kapsar. Tıbbi tedavilerin yanı sıra estetik uygulamalar ve rehabilitasyon gibi hizmetler de bu kapsamda değerlendirilir. Sağlık turizmini etkileyen faktörler arasında hizmet maliyetleri, sağlık hizmetlerinin kalitesi ve teknolojik altyapı yer almaktadır. Sağlık turizmi, ülke ekonomisine katkı sağlamasının yanı sıra uluslararası iş birliklerini ve teknoloji transferini de desteklemektedir (Şengül & Bulut, 2019).

Dijitalleşme, sağlık turizminin gelişiminde ve uluslararası hastalara ulaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Web siteleri, sosyal medya platformları gibi elektronik iletişim ortamları sağlık turistlerinin tedavi seçenekleri ve sağlık kuruluşları hakkında bilgi edinmelerini kolaylaştırarak karar verme süreçlerini etkilemektedir. Bu araçlar, sağlık kuruluşlarının güvenilirlik algısını ve uluslararası rekabet gücünü artırırken sağlık turizmi hizmetlerinin dijital ortamda yürütülmesini de yaygınlaştırmaktadır (Öksüz ve Altıntaş, 2017).

Bununla birlikte, dijitalleşmenin yaygınlaşması, sağlık turistlerine ait kişisel ve özel nitelikli sağlık verilerinin toplanması, saklanması ve farklı kurumlar arasında paylaşılması gibi işlemleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle yetkisiz erişim, veri güvenliği ihlalleri ve mahremiyetin korunmasına dair sorunlar, sağlık turizminde önemli riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle açık rıza, veri toplamanın sınırlandırılması ve erişim yetkilendirmesi gibi ilkelerin uygulanması; sağlık kuruluşları ile aracı kurumların ilgili mevzuata uygun teknik ve hukuki önlemler alması gerekmektedir (Karaca-Dedeoğlu, 2019).

Bu araştırmada, sağlık turizminde dijital mahremiyet ve kişisel sağlık verilerinin korunması ele alınmakta; veri güvenliği riskleri ile mahremiyetin korunmasına yönelik hukuki ve teknik önlemler değerlendirilmektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sağlık Turizminde Dijitalleşme ve Kişisel Sağlık Verileri

Sağlık turizminde dijitalleşme, kişisel sağlık verilerinin elektronik ortamda toplanmasını, işlenmesini ve uluslararası düzeyde aktarılmasını kolay kılmaktadır. Bununla birlikte, bu süreç hastaların mahremiyeti ve veri güvenliği bakımından çeşitli riskler oluşturmaktadır. Türkiye'de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, sağlık verilerinin hukuka uygun işlenmesi ve korunması için temel bir yasal çerçeve sunmaktadır. Bu nedenle, dijital sağlık hizmetlerinde veri güvenliğinin sağlanması, hastaların mahremiyetinin korunması açısından önem taşımaktadır (Durmuş, 2021).

2.2. Dijital Mahremiyet ve Kişisel Verilerin Korunmasına İlişkin Hukuki Düzenlemeler

Sağlık turizmi kapsamında uluslararası hasta hareketliliğinin artması ve dijital teknolojilerin yaygınlaşması, kişisel sağlık verilerinin korunmasını ve özel hayatın mahremiyetinin güvence

altına alınmasını önemli bir hukuki mesele hâline getirmiştir. Türkiye'de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), sağlık verileri gibi özel nitelikli kişisel verilerin işlenmesine ilişkin temel ilke ve yükümlülükleri düzenlemektedir (KVKK, 2016). Bunun yanı sıra, Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 20. maddesi ve uluslararası veri koruma düzenlemeleri, hastaların mahremiyet haklarının korunmasına yönelik hukuki çerçeveyi oluşturmaktadır. Özellikle sağlık turizmi sürecinde hasta bilgilerinin uluslararası aktarımı, dijital platformlarda saklanması ve üçüncü taraflarla paylaşılması, sağlık kuruluşlarının veri güvenliği ve hukuki sorumluluklarını daha da önemli hâle getirmektedir (Tanışık & Bal, 2024).

2.3. Sağlık Turizminde Dijital Mahremiyet Riskleri

Sağlık turizminde dijital mahremiyet riskleri, uluslararası hastaların kişisel ve özel nitelikli sağlık verilerinin elektronik ortamda kaydedilmesi, saklanması, işlenmesi ve farklı kurumlarla paylaşılması aşamalarında ortaya çıkmaktadır. Özellikle sağlık bilgi yönetim sistemleri, dijital hasta kayıtları ve aracı kurumlar vesilesiyle gerçekleştirilen veri aktarımı, hastaların mahremiyetinin ihlal edilmesi riskini artırmaktadır. Hastaların verilerinin hangi amaçlarla ve kimlerle paylaşılacağı konusunda yeterince bilgilendirilmemesi, aydınlatılmış onam ve veri güvenliği yönünden etik ve hukuki sorunlara yol açmaktadır. Bu sebeple sağlık turizminde dijital mahremiyetin korunması, veri güvenliğinin sağlanmasına ek olarak şeffaflık, bilgilendirme ve hasta haklarına saygı ilkelerinin benimsenmesini gerektirmektedir (Karaca Dedeoğlu ve Kayar, 2022) .

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, sağlık turizminde dijital mahremiyet ve kişisel sağlık verilerinin korunmasını incelemek amacıyla literatür taraması yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası akademik yayınlar, bilimsel makaleler ve yasal düzenlemeler incelenmiştir. Elde edilen bilgiler; veri güvenliği, hukuki düzenlemeler ve etik sorumluluklar çerçevesinde değerlendirilerek konuya ilişkin genel bir bakış sunulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatür taraması sonucunda, sağlık turizminde dijitalleşmenin kişisel sağlık verilerinin toplanmasını, saklanmasını ve uluslararası aktarımını kolaylaştırdığı görülmektedir (Durmuş, 2021). Bununla birlikte, yetkisiz erişim, veri ihlalleri ve hasta bilgilerinin izinsiz paylaşılması gibi risklerin dijital mahremiyet açısından önemli sorunlar oluşturduğu değerlendirilmektedir. Özellikle sağlık kuruluşları ile aracı kurumlar arasında gerçekleştirilen veri paylaşımında, hastaların bilgilendirilmesi ve mahremiyet haklarının korunması önem taşımaktadır (Karaca Dedeoğlu ve Kayar, 2022).

İncelenen literatür ve yasal düzenlemeler, kişisel sağlık verilerinin korunmasında hukuki yükümlülüklerin yanı sıra etik sorumlulukların da belirleyici olduğunu göstermektedir. Türkiye'de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, kişisel sağlık verilerinin korunmasına yönelik temel bir yasal çerçeve sunmaktadır (KVKK, 2016). Ancak uluslararası veri aktarımı ve farklı ülkelerin veri koruma uygulamaları, sağlık turizmi alanında ek güçlükler doğurabilmektedir. Bu nedenle sağlık kuruluşlarının veri güvenliği önlemlerini güçlendirmesi, şeffaf veri işleme politikaları oluşturması ve hastaların açık rıza ile bilgilendirilmiş onam süreçlerini etkin biçimde yürütmesi gerekmektedir (Öksüz ve Altıntaş, 2017).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, sağlık turizminde dijital mahremiyet ve kişisel sağlık verilerinin korunmasının hukuki, etik ve teknolojik açıdan önemli bir konu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dijitalleşme, uluslararası hastaların sağlık hizmetlerine erişimini kolaylaştırırken kişisel sağlık verilerinin yetkisiz erişim, veri ihlalleri ve izinsiz paylaşım gibi risklerle karşı karşıya kalmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple sağlık turistlerinin mahremiyetinin korunması, hasta güveninin sağlanması ve sağlık turizminin sürdürülebilir gelişimi açısından önem taşımaktadır (Karaca Dedeoğlu ve Kayar, 2022).

Bu doğrultuda, sağlık kuruluşlarının güncel veri güvenliği teknolojilerini kullanması, kişisel sağlık verilerine erişimi yetkilendirmesi ve çalışanlara düzenli veri koruma eğitimleri vermesi önerilmektedir. Ayrıca uluslararası veri aktarım süreçlerinin ilgili mevzuata uygun yürütülmesi, hastaların verilerinin işlenmesi hakkında açık ve anlaşılır şekilde bilgilendirilmesi tavsiye edilmektedir (Karaca Dedeoğlu ve Kayar, 2022). Gelecek çalışmalarda ise sağlık turistlerinin dijital mahremiyet algılarını ve sağlık kuruluşlarının veri koruma uygulamalarını inceleyen saha araştırmalarının yapılması, konuya ilişkin daha kapsamlı değerlendirmeler oraya koyabilir.

KAYNAKÇA

Durmuş, V. (2021). Kişisel Sağlık Verilerinin Korunmasında İdarenin Hukuki Sorumluluğu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi, 14*(1), 67-76.

Karaca Dedeoğlu, A., & Kayar, A. (2022). Sağlık Turizminde Etik Sorunları. *Türkiye Biyoetik Dergisi, 8*(4), 178-186.

Karaca-dedeoğlu, A. (2019). Uluslararası Sağlık Turizminde Hastanın Özel Hayatının Gizliliği ve Mahremiyetinin Korunması Hakkı. *OPUS International Journal of Society Researches, 10*(17), 1875-1910.

Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (Kanun No. 6698). (2016, 7 Nisan). Resmî Gazete (Sayı: 29677). (07.04.2016), Erişim Tarihi (17.10.2026)

Öksüz, B., & Altıntaş, V. (2017). Sağlık Turizminde Dijital İletişim Kanallarının Kullanımı. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi, 14*(1), 59-75

Şengül, H. ve Bulut, A. (2019). SAĞLIK TURİZMİ ÇERÇEVESİNDE TÜRKİYE'DE TERMAL TURİZM; BİR SWOT ANALİZİ ÇALIŞMASI. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama Ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi ,* 4 (1), 55-70.

Tanışık, S., & Bal, S. (2024). Dijital Mahremiyet ve Kurumsal Sorumluluk: Kişisel Verilerin Korunmasında İletişim Teknolojilerinin Kamusal Rolü. *Yeni Medya, 16,* 268-285.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SAĞLIK ÇALIŞANLARININ BESİN İLAÇ ETKİLEŞİMLERİ VE BESLENME BİLGİSİ İLE MESLEKİ KAYGI EĞİLİMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Buse BAKIR
İzmir Katip Celebi University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 35620 Çiğli, İzmir
ORCID ID: 0000-0001-5884-5063
Diyetisyen Rumeysa TAN
İzmir Katip Celebi University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 35620 Çiğli, İzmir
ORCID ID: 0009-0007-0480-243X

ÖZET

Kesitsel tipteki bu araştırmanın amacı, sağlık çalışanlarının besin-ilaç etkileşimleri (BİE) ve beslenme bilgi düzeyleri ile mesleki kaygıları arasındaki ilişkiyi değerlendirmektir. Araştırma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sosyal Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay (2025/24-08) alınmasının ardından Aralık 2025 – Temmuz 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür. Araştırmaya 571 hekim, 533 hemşire, 157 diyetisyen ve 105 eczacı olmak üzere toplam 1366 sağlık çalışanı katılmıştır. Veriler, katılımcıların tanımlayıcı özelliklerinin yanı sıra Besin-İlaç Etkileşimi Bilgi Ölçeği, Yetişkinler İçin Beslenme Bilgi Düzeyi Ölçeği (YETBİD) ve Mesleki Kaygı Ölçeği'ni içeren bir anket formu aracılığıyla, Kartopu Örnekleme yöntemi kullanılarak çevrimiçi olarak toplanmıştır. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler, bağımsız örneklem t testi ve Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. Katılımcıların yaş ortalaması 40,63±6,67 yıl olup, %68,9'u kadındır. BİE bilgi ve mesleki kaygı puanları sırasıyla 13,78±4,50 ve 66,87±13,52'dir. BİE bilgi puan ortalaması hekimlerde 13,79±4,78, hemşirelerde 13,44±4,01, eczacılarda 14,70±4,56 ve diyetisyenlerde 14,25±4,82 olarak saptanmıştır. Katılımcıların BİE bilgi düzeyi %43,5'inde çok iyi, %25'inde iyi, %25'inde orta ve %6,5'inde düşük olarak belirlenmiştir. YETBİD Temel Beslenme ve Besin Tercihi alt boyutlarının ortalama puanları sırasıyla 61,12±9,81 ve 38,10±5,52 olarak belirlenmiş olup, diyetisyenlerin her iki alt boyutun ortalaması da diğer meslek gruplarından daha yüksek bulunmuştur ($p<0,001$). Hekimlerin mesleki kaygı puanları hemşire ve diyetisyenlerden anlamlı düzeyde yüksektir ($p<0,05$). Katılımcılar mesleki kaygı puanları açısından çeyrekliklere ayrılarak gruplandırıldığında, en düşük kaygı düzeyine sahip gruptan en yüksek gruba doğru BİE bilgi puanlarının kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir ($p<0,001$). Korelasyon analizinde mesleki kaygı puanı ile BİE bilgi puanı arasında güçlü negatif ilişki saptanırken ($r= –0,884$; $p<0,001$), temel beslenme bilgisi ile anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir ($p>0,05$). Sonuç olarak, sağlık çalışanlarının mesleki kaygı düzeyleri ile besin-ilaç etkileşimi bilgisi arasında negatif bir ilişki saptanırken, genel beslenme bilgisi ile anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu bulgular, mesleki kaygının genel beslenme bilgisinden ziyade mesleki uygulamalarla doğrudan ilişkili bilgi düzeyiyle bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir. İlaçların reçetelenmesi, uygulanması, hastaların bilgilendirilmesi ve beslenme tedavisinin ilaç kullanımıyla uyumlu şekilde planlanmasında sorumluluk üstlenen sağlık çalışanlarının besin-ilaç etkileşimlerine yönelik bilgi ve farkındalıklarının düzenli olarak geliştirilmesi, mesleki yeterliliğin desteklenmesi ve hasta güvenliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Besin-ilaç etkileşimi, besin tercihi, beslenme bilgisi, mesleki kaygı, sağlık çalışanları

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FOOD-DRUG INTERACTION KNOWLEDGE, NUTRITION KNOWLEDGE, AND OCCUPATIONAL ANXIETY AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS

ABSTRACT

This cross-sectional study aimed to evaluate the relationship between healthcare professionals' food-drug interaction (FDI) knowledge, nutritional knowledge, and occupational anxiety. The study was conducted between December 2025 and July 2026 following ethical approval (2025/24-08) from the Izmir Katip Celebi University Social Research Ethics Committee. A total of 1366 healthcare professionals participated, including 571 physicians, 533 nurses, 157 dietitians, and 105 pharmacists. Data were collected online using the snowball sampling method via a questionnaire that included demographic characteristics as well as the Food-Drug Interaction Knowledge Scale, the Nutrition Knowledge Level Scale for Adults (NKLSA), and the Occupational Anxiety Scale. Descriptive statistics, the independent-samples t-test, and Pearson correlation analysis were used in the data analysis. Participants' mean age was 40.63±6.67 years, and 68.9% were women. Participants' FDI knowledge and occupational anxiety scores were 13.78±4.50 and 66.87±13.52, respectively. The mean FDI knowledge score was 13.79±4.78 for physicians, 13.44±4.01 for nurses, 14.70±4.56 for pharmacists, and 14.25±4.82 for dietitians. Participants' FDI knowledge level was determined to be "very good" for 43.5%, "good" for 25%, "moderate" for 25%, and "low" for 6.5%. The mean scores for the NKLSA "Basic Nutrition Knowledge" and "Food Choice" subdimensions were 61.12±9.81 and 38.10±5.52, respectively; dietitians' mean scores for both subdimensions were higher than those of other occupations. Physicians' occupational anxiety scores were significantly higher than nurses' and dietitians' ($p<0.001$). When participants were grouped into quartiles based on their occupational anxiety scores, it was found that FDI knowledge scores decreased gradually from the group with the lowest anxiety to the group with the highest ($p<0.001$). The correlation analysis found a strong negative relationship between occupational anxiety score and FDI knowledge score ($r= –0.884$; $p<0.001$), but no significant relationship with Basic Nutrition Knowledge score. In conclusion, occupational anxiety was negatively associated with FDI knowledge among healthcare professionals, whereas it was not significantly associated with nutritional knowledge. These findings suggest that occupational anxiety may be more closely related to knowledge directly relevant to professional practice than to nutritional knowledge. Regularly enhancing healthcare professionals' knowledge and awareness of food-drug interactions is important to support professional competence and ensure patient safety, given their responsibilities for prescribing and administering medications, providing patient education, and planning nutritional treatment in line with medication use.

Keywords: Food-drug interaction, food choice, nutrition knowledge, occupational anxiety, healthcare professionals

1. GİRİŞ

Besin-ilaç etkileşimleri (BİE); ilaçların emilimi, metabolizması ve tedavinin etkinliği üzerinde değişikliklere yol açabilen, yanlış yönetildiğinde tedavi etkinliğini azaltabilen veya ilacın toksik etki riskini artırabilen önemli faktörlerdir (Bushra vd., 2011; Öztürk ve Aslan, 2024). Hekim, hemşire, diyetisyen ve eczacı başta olmak üzere sağlık çalışanlarının bu konudaki bilgi ve farkındalık düzeyi hasta güvenliği ve tedavi etkinliği açısından kritik öneme sahiptir (Degefu vd., 2022; Duru vd., 2022; Ertaş-Öztürk vd., 2024; Öztürk ve Aslan, 2024). Mesleki kaygı eğilimleri, sağlık çalışanlarının görevlerini yerine getirirken yaşadıkları bilişsel-duygusal

gerilimi ifade eder (Çelebi vd., 2025). Bilgi ile kaygı arasında çift yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Güncel ve doğru bilgiye sahip olmak kaygıyı azaltabilir; ancak bazı durumlarda bilgi düzeyinin artışı risk farkındalığını da yükselterek kısa dönemde kaygıyı da artırabilir. Bu durum, bilgi düzeyi ve mesleki kaygı arasında doğrusal olmayan bir ilişkiye işaret etmektedir (Doraiswamy vd., 2021; Yin ve Lui., 2024).

Tedavi görmekte olan bir hastanın güvenliğinden, multidisipliner olarak çalışmakta olan tüm sağlık profesyonelleri sorumludur (Korylchuk vd., 2024). Hekimler, ilaç seçimi ve doz ayarlamasından, hemşireler uygulama ve izlemden, diyetisyenler tıbbi beslenme tedavisinden ve eczacılar ise ilaç ve kullanımına ilişkin yönlendirmeden sorumludur. Bu rollerin kesiştiği noktada bilgi eksikliği olması durumunda ilaç ve beslenme tedavisi hedefine ulaşamayabilir (Dresen vd., 2025; Rosseel vd., 2025). Diğer yandan, çalışma şartları, artan iş yükü ve hızlı karar verme gereklilikleri gibi nedenlerle sağlık çalışanlarında mesleki kaygı eğilimi artabilir (Sincan vd., 2025).

Literatürde BİE ve beslenmeye yönelik bilgi düzeylerinin çeşitli sağlık mesleklerinde ayrı ayrı incelendiği (Balaban vd., 2025; Duru vd., 2022; Khong vd., 2024; Sarybay vd., 2025); anksiyete, tükenmişlik gibi psikososyal çıktılarının da farklı örneklemlerde incelendiği gözlenmiştir (Çelebi vd., 2025; Mishra vd., 2024; Şenyurt ve Kocabaş, 2024). Ancak bu iki alanın aynı örneklemde ve meslekler arasında karşılaştırmalı olarak ele alınması da önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, hekim, hemşire, diyetisyen ve eczacıların BİE ve beslenme bilgi düzeyi ile mesleki kaygı eğilimi arasındaki ilişkinin kesitsel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Tanımlayıcı ve kesitsel tipteki bu araştırmanın örneklemini İzmir ilinde çalışmakta olan hekimler, diyetisyenler, hemşireler ve eczacılar oluşturmuştur. Hastalara beslenme ve ilaçlar ile ilgili en sık tavsiyelerde bulunan veya tedavi uygulayan meslek grupları olmaları nedeniyle bu dört grup (hekim, diyetisyen, hemşire, eczacı) örneklem olarak seçilmiştir.

Araştırma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sosyal Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay (Karar Numarası: 2025/24-08) alınmasının ardından 29 Aralık 2025 – 30 Temmuz 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür. Araştırmada örneklem seçimi olasılıksız örnekleme yöntemlerinden Kartopu (Snowball) ve Kolayda (Convenience) Örnekleme Yöntemleri ile gerçekleştirilmiş, çevrimiçi anket bağlantısı araştırmacılar tarafından bireylere iletilmiş; katılımcılar da kendi çevrelerindeki diğer sağlık çalışanları ile paylaşmaları konusunda teşvik edilmiştir.

Araştırmaya katılmaya gönüllü olanlar, aktif olarak çalışmakta olanlar dahil edilmiş; aktif olarak çalışmayan (emekli) bireyler ile hekim tarafından tanısı konmuş ve düzenli ilaç kullanımını gerektirecek bir hastalığı bulunanlar dahil edilmemiştir.

Araştırmaya ait veriler, literatür doğrultusunda araştırmacılar tarafından hazırlanan çevrimiçi anket formu (Google Forms) aracılığıyla toplanmıştır.

Anket soruları öncesinde "Bu araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul ediyor musunuz?" sorusu ile gönüllü onayı alınması hedeflenmiş, "Evet" yanıtı veren katılımcılar anket sorularını görmüş; "Hayır" yanıtı veren katılımcılar için çevrimiçi anket sonlandırılmıştır.

Anketin ilk bölümünde tanıtıcı bilgiler (yaş, cinsiyet, meslek, aktif olarak meslekte çalışma süresi) yer almıştır. Ayrıca, araştırmanın çevrimiçi olarak ve yalnızca İzmir ilindeki sağlık çalışanları ile yürütülmesi hedeflendiğinden, katılımcıların hangi şehirde yaşadıklarına dair bir soru da eklenmiştir. Farklı bir şehirden yanıtlanması halinde, o veriler çalışma dışı bırakılmıştır.

Sağlık çalışanlarının BİE konusundaki bilgi düzeyini belirlemek amacıyla Karagöz vd. (2022) tarafından geliştirilen Sağlık Çalışanlarında Besin ve İlaç Etkileşimi Bilgi Düzeyi Ölçeği kullanılmıştır. 21 maddeden oluşan ölçek soruları Doğru/Yanlış/Bilmiyorum seçenekleriyle

yanıtlanmaktadır. 1 ve 11'inci sorular ters kodlanmış olup, bu soruların gerçek yanıtı 'Yanlış', diğer soruların gerçek yanıtı 'Doğru' olmalıdır. İsabetli şekilde bilinen yanıtlar 1 puan, isabetli olmayan ve 'Bilmiyorum' olarak işaretlenen yanıtlar ise 0 puan almaktadır. Tüm maddelerden alınan puanlar toplanarak toplam puan elde edilmekte ve puanın artması bilgi düzeyinin de arttığına işaret etmektedir. <5 puan "düşük", 6-11 puan "orta", 11-15 puan "iyi" ve 16-21 arası "çok iyi" bilgi düzeyi olarak sınıflandırılmaktadır (Karagöz vd., 2022).

Katılımcıların beslenme bilgi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla 2018 yılında geliştirilen Yetişkinler İçin Beslenme Bilgi Düzeyi (YETBİD) Ölçeği kullanılmıştır (Batmaz, 2018). Ölçek, temel beslenme ile ilişkili 20 soru ve besin tercihleri ile ilişkili 12 soru olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. Sorular "Kesinlikle katılıyorum, Katılıyorum, Ne katılıyorum ne katılmıyorum, Katılmıyorum, Kesinlikle katılmıyorum" şeklinde 5'li Likert olarak değerlendirilmektedir. Doğru önermelere kesinlikle katılıyorum cevabını verenler 4 puan, katılıyorum cevabını verenler 3 puan, ne katılıyorum ne katılmıyorum cevabını verenler 2 puan, katılmıyorum cevabını verenler 1 puan, kesinlikle katılmıyorum cevabını verenler 0 puan almaktadır. Yanlış önermelere kesinlikle katılıyorum cevabını verenler 0 puan, katılıyorum cevabını verenler 1 puan, ne katılıyorum ne katılmıyorum cevabını verenler 2 puan, katılmıyorum cevabını verenler 3 puan, kesinlikle katılmıyorum cevabını verenler 4 puan almaktadır. Temel beslenme bölümünden alınabilecek en fazla puan 80, besin tercihi bölümünden alınabilecek en fazla puan ise 48'dir. Ölçekten elde edilen puanlara göre bireylerin beslenme bilgi düzeyleri kötü, orta, iyi ve çok iyi olarak değerlendirilmektedir. Temel beslenme bölümünde <45 puan kötü, 45-55 puan orta, 56-65 puan iyi ve >65 puan çok iyi; besin tercihi bölümünde <30 puan kötü, 30-36 puan orta, 37-42 puan iyi ve >42 puan çok iyi olarak sınıflandırılmaktadır (Batmaz, 2018).

Anket formunun son bölümünde Çelebi vd. (2025) tarafından geliştirilen ve sağlık çalışanlarında mesleki kaygıyı ölçmeyi amaçlayan Sağlık Çalışanları İçin Mesleki Kaygı Ölçeği yer almıştır. Ölçekte toplam 31 madde bulunmakta ve maddeler Katılıyorum (3 puan) / Kararsızım (2 puan) / Katılmıyorum (1 puan) seçenekleri ile yanıtlanmaktadır. Hasta Merkezli, Kişi Merkezli ve İş Merkezli olmak üzere 3 alt boyutu bulunmaktadır. Ölçeğin alt boyut puanları ve toplam puanının artması sağlık çalışanlarında mesleki kaygı eğiliminin de arttığına işaret etmektedir (Çelebi vd., 2025). Ölçeğin bir kesim noktası bulunmadığından, istatistiksel karşılaştırmaların gerçekleştirilebilmesi için kaygı toplam puanları çeyrekliklere (Q1 ≤56 puan, Q2 57-67 puan, Q3 68-77 puan ve Q4 ≥78 puan) ayrılarak değerlendirilmiştir.

Araştırmaya ait veriler SPSS 27 (Statistical Package for the Social Sciences for Windows (SPSS), Versiyon 27.0) kullanılarak analiz edilmiştir. Kategorik değişkenler 'sayı (n)' ve 'yüzde (%)' olarak sunulmuştur. Sayısal değişkenler Shapiro-Wilk testi, basıklık ve çarpıklık değerleri kontrol edilerek normal dağılıma uygunluk açısından değerlendirilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdiği belirlendiğinden, sayısal değişkenler 'ortalama ($\bar{x}$) ± standart sapma (SS)' olarak sunulmuştur. Sayısal değişkenler iki bağımsız grupta bağımsız örneklem t testi, ikiden fazla bağımsız grupta ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırılmıştır. Sayısal değişkenler arasındaki ilişkiler ise, Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Tüm analizlerde $p<0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

Katılımcılara ait temel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Araştırmaya yaş ortalaması 40,63±6,67 yıl olan toplam 1366 sağlık çalışanı katılmıştır. Katılımcıların %68,9'u (n=941) kadın, %41,8'i (n=571) hekim, %39'u (n=533) hemşire, %11,5'i (n=157) diyetisyen ve %7,7'si (n=105) eczacı olup, %82,7'si mesleki deneyiminin 10 yıldan fazla olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların BİE

Bilgi Ölçeği puan ortalaması 13,78±4,50, Mesleki Kaygı Ölçeği puan ortalaması 66,87±13,52, Temel Beslenme Bilgisi ve Besin Tercihi puan ortalamaları ise sırasıyla 61,12±9,81 ve 38,10±5,52 olarak saptanmıştır.

Tablo 1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri ve ölçek puanları

	x̄ ± SS (En düşük – En yüksek)
Yaş (yıl)	40,63 ± 6,67 (28 – 59)
Cinsiyet, n (%)	
Erkek	425 (31,1)
Kadın	941 (68,9)
Meslek, n (%)	
Diyetisyen	157 (11,5)
Eczacı	105 (7,7)
Hekim	571 (41,8)
Hemşire	533 (39,0)
Mesleki Deneyim (yıl), n (%)	
10 yıldan az	236 (17,3)
10 yıl ve üzeri	1130 (82,7)
Ölçek Puanları	
Besin İlaç Etkileşimi (BİE) Bilgi Puanı	13,78 ± 4,50 (4 – 21)
Mesleki Kaygı Puanı	66,87 ± 13,52 (40 – 93)
YETBİD – Temel Beslenme Bilgisi	61,12 ± 9,81 (40 – 80)
YETBİD – Besin Tercihi	38,10 ± 5,52 (30 – 48)

Meslek gruplarına göre yapılan karşılaştırmalarda, diyetisyenlerin Temel Beslenme Bilgisi (71,29 ± 5,73) ve Besin Tercihi (44,24 ± 3,37) puanlarının diğer meslek gruplarından anlamlı düzeyde yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,001$). Hekimlerin mesleki kaygı puanları (68,60 ± 13,20), eczacılarla (67,45 ± 13,22) benzer iken; diyetisyenlerden (64,90 ± 14,57) ve hemşirelerden (65,49 ± 13,40) yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Besin-ilaç etkileşimi (BİE) bilgi skoru, meslek grupları arasında anlamlı farklılık göstermekle birlikte ($p<0,05$), ikili karşılaştırmalarda anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Mesleki deneyimi 10 yıldan az olan katılımcıların BİE bilgi puanları daha yüksek (14,66 ± 3,34'e karşı 13,59 ± 4,68; $p<0,001$), mesleki kaygı puanları ise daha düşük bulunmuştur (64,94 ± 9,90'a karşı 67,28 ± 14,13; $p<0,05$). Mesleki kaygı düzeylerine göre BİE bilgi puanlarının Q1'den Q4'e doğru kademeli olarak azaldığı ($p<0,001$), ancak Beslenme Bilgisi ve Besin Tercihi puanlarının kaygı çeyreklikleri arasında anlamlı farklılık göstermediği gözlenmiştir ($p>0,05$) (Tablo 2).

Tablo 2. Katılımcıların meslek ve mesleki kaygı düzeylerine göre ölçek puanları

	BİE Bilgi Puanı	**Mesleki Kaygı Puanı**	**YETBİD – Temel Beslenme**	**YETBİD – Besin Tercihi**
Meslek				
Diyetisyen	14,25 ± 4,82	64,90 ± 14,57 ^{b}	71,29 ± 5,73 ^{a}	44,24 ± 3,37 ^{a}
Eczacı	14,70 ± 4,56	67,45 ± 13,22 ^{ab}	60,71 ± 9,83 ^{b}	38,03 ± 5,34 ^{b}
Hekim	13,79 ± 4,78	68,60 ± 13,20 ^{a}	59,45 ± 9,53 ^{b}	37,12 ± 5,21 ^{b}
Hemşire	13,44 ± 4,01	65,49 ± 13,40 ^{b}	60,00 ± 9,29 ^{b}	37,36 ± 5,23 ^{b}
p	*	**	**	**
Mesleki Deneyim				
10 yıldan az	14,66 ± 3,34	64,94 ± 9,90	61,02 ± 9,38	38,15 ± 5,62
10 yıl ve üzeri	13,59 ± 4,68	67,28 ± 14,13	61,14 ± 9,90	38,09 ± 5,49
p	**	*	AD	AD
Mesleki Kaygı Düzeyi				
Q1 (≤ 56)	17,96 ± 2,32 ^{a}	49,77 ± 4,95 ^{a}	61,56 ± 9,67	38,45 ± 5,52
Q2 (57 – 67)	16,81 ± 1,17 ^{b}	62,20 ± 3,16 ^{b}	61,34 ± 9,87	38,51 ± 5,42

Q3 (68 – 77)	12,05 ± 1,97 [c]	72,73 ± 2,80 [c]	60,80 ± 9,50	37,71 ± 5,41
Q4 (≥ 78)	7,9 ± 2,49 [d]	84,41 ± 4,79 [d]	60,76 ± 10,23	37,72 ± 5,38
p	**	**	AD	AD
AD, anlamlı değil; *p<0,05; **p<0,001				

Tablo 3'te katılımcıların BİE bilgi düzeyleri, beslenme bilgisi ve mesleki kaygı çeyrekliklerinin meslek gruplarına göre dağılımı gösterilmiştir. Katılımcıların %43,5'inin (n=594) BİE bilgi düzeyinin çok iyi olduğu belirlenmiştir. Çok iyi düzeyde BİE bilgi düzeyine sahip katılımcıların oranı eczacılarda (%52,4) ve diyetisyenlerde (%52,2) daha yüksek bulunmuştur. Mesleki kaygı düzeyi en yüksek olanların oranı hekimlerde %28,7, eczacılarda %26,7,diyetisyenlerde %21,7 ve hemşirelerde %19,7 olarak belirlenmiştir. Temel Beslenme Bilgisi düzeyi katılımcıların %38,4'ünde iyi ve %33,5'inde çok iyi olarak değerlendirilmiş olup, bilgi düzeyi çok iyi olanların oranı diyetisyenlerde %80,3 olarak saptanmıştır. Besin Tercihi düzeyi ise katılımcıların %38,1'inde iyi ve %37,2'sinde orta olarak belirlenmiş; çok iyi düzey oranı diyetisyenlerde (%75,2) diğer meslek gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 3. Katılımcıların BİE bilgi düzeyi, mesleki kaygı, temel beslenme ve besin tercihi düzeylerinin meslek gruplarına göre dağılımı

	Diyetisyen	**Eczacı**	**Hekim**	**Hemşire**	**Toplam**
Besin İlaç Etkileşimi Bilgi Düzeyi					
Düşük	8 (5,1)	7 (6,7)	45 (7,9)	30 (5,6)	90 (6,5)
Orta	39 (24,8)	19 (18,1)	153 (26,8)	130 (24,4)	341 (25,0)
İyi	28 (17,8)	24 (22,9)	122 (21,4)	167 (31,3)	341 (25,0)
Çok iyi	82 (52,2)	55 (52,4)	251 (44,0)	206 (38,6)	594 (43,5)
Mesleki Kaygı Düzeyi, n (%)					
Q1 (≤ 56)	53 (33,8)	29 (27,6)	122 (21,4)	160 (30,0)	364 (26,6)
Q2 (57 – 67)	34 (21,7)	29 (27,6)	140 (24,5)	130 (24,4)	333 (24,4)
Q3 (68 – 77)	36 (22,9)	19 (18,1)	145 (25,4)	138 (25,9)	338 (24,7)
Q4 (≥ 78)	34 (21,7)	28 (26,7)	164 (28,7)	105 (19,7)	331 (24,2)
YETBİD – Temel Beslenme Bilgisi, n (%)					
Kötü	-	8 (7,6)	23 (4,0)	28 (5,3)	59 (4,3)
Orta	-	13 (12,4)	172 (30,1)	139 (26,1)	324 (23,7)
İyi	31 (19,7)	55 (52,4)	222 (38,9)	217 (40,7)	525 (38,4)
Çok iyi	126 (80,3)	29 (27,6)	154 (27,0)	149 (28,0)	458 (33,5)
YETBİD – Besin Tercihi, n (%)					
Kötü	-	-	-	-	-
Orta	2 (1,3)	39 (37,1)	246 (43,1)	221 (41,5)	508 (37,2)
İyi	37 (23,6)	41 (39,0)	232 (40,6)	210 (39,4)	520 (38,1)
Çok iyi	118 (75,2)	25 (23,8)	93 (16,3)	102 (19,1)	338 (24,7)

Araştırma değişkenleri arasındaki korelasyon analizinde, BİE bilgi puanı ile mesleki kaygı puanı arasında güçlü bir negatif yönlü ilişki saptanmıştır (r= –0,884; p<0,001). Yaş ile BİE bilgi puanı arasında pozitif (r=0,138; p<0,001), mesleki kaygı puanı arasında negatif (r= –0,176; p<0,001) yönlü zayıf ilişki belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Yaş, besin ilaç etkileşimi bilgisi, beslenme bilgisi ve mesleki kaygı arasındaki korelasyon

r p	Yaş	BİE Bilgi Puanı	Mesleki Kaygı Puanı	YETBİD – Temel Beslenme	YETBİD – Besin Tercihi
Yaş	1				
BİE Ölçek Skoru	0,138 **	1			
Mesleki Kaygı Skoru	–0,176 **	–0,884 **	1		
YETBİD – Temel Beslenme	0,043 AD	0,025 AD	–0,023 AD	1	
YETBİD – Besin Tercihi	0,015 AD	0,052 AD	–0,064 *	0,144 **	1
Pearson korelasyon analizi, AD, anlamlı değil; *p<0,05; **p<0,001					

4. SONUÇ

Bu araştırmada, sağlık çalışanlarının BİE bilgi düzeyleri ile mesleki kaygıları arasında güçlü ve negatif yönlü bir ilişki gözlenirken, beslenme bilgisi ile bir ilişki bulunmamıştır. Bulgular, mesleki kaygının mesleki uygulamalarla doğrudan ilişkili olan spesifik klinik bilgi düzeyi ile bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir. İlaçların reçete edilmesi, uygulanması, hastanın bilgilendirilmesi, klinik takibi ve beslenme tedavisinin planlanmasında sorumluluklar üstlenen sağlık çalışanlarının BİE bilgilerinin düzenli olarak güncellenmesi, mesleki yeterliliğin ve hasta güvenliğinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Balaban, U., Yildiz Balaban, T., & Kelleci Cakir, B. (2025). Assessment of food-drug interaction knowledge among Turkish healthcare professionals. *BMC Medical Education*, *25*(1), 934. https://doi.org/10.1186/s12909-025-07518-8

Batmaz, H. (2018). *Yetişkinler için beslenme bilgi düzeyi ölçeği geliştirilmesi ve geçerlik-güvenirlik çalışması* (Yayın No. 521738) [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Bushra, R., Aslam, N., & Khan, A. Y. (2011). Food-drug interactions. *Oman Medical Journal*, *26*(2), 77–83. https://doi.org/10.5001/omj.2011.21

Çelebi, İ., Balcı, E., Gökkaya, E., & Üstün, Ö. (2025). Occupational Anxiety Scale for Healthcare Professionals: Validity Study. *Turkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, *10*(1), 124–130. https://doi.org/10.5336/healthsci.2024-104920

Degefu, N., Getachew, M., & Amare, F. (2022). Knowledge of Drug-Food Interactions Among Healthcare Professionals Working in Public Hospitals in Ethiopia. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, *15*, 2635–2645. https://doi.org/10.2147/JMDH.S389068

Doraiswamy, S., Cheema, S., Maisonneuve, P., Abraham, A., Weber, I., An, J., Lowenfels, A. B., & Mamtani, R. (2021). Knowledge and Anxiety about COVID-19 in the State of Qatar, and the Middle East and North Africa Region-A Cross Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(12), 6439. https://doi.org/10.3390/ijerph18126439

Dresen, E., Bear, D. E., DePriest, A., Modir, R., Naidoo, O., Compher, C., Ho, A., Foong, P. H., Velásquez, M. E. G., Lee, Z. Y., Lew, C. C. H., Elke, G., Patel, J. J., McKeever, L., Berschauer, K., Domingues, C. R., Lopez-Delgado, J. C., Meybohm, P., Heyland, D. K., & Stoppe, C. (2025). Role of dietitians in optimizing medical nutrition therapy in cardiac surgery patients: A secondary analysis of an international multicenter observational study. *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, *49*(4), 476–487. https://doi.org/10.1002/jpen.2755

Duru, P., Örsal, Ö., Çelik, H. (2022). Evaluation of the Nurses' Knowledge Levels of Food-Drug Interaction and Some Other Influencing Factors: A Cross-Sectional Study. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, *14*(2), 387–397. https://doi.org/10.5336/nurses.2021-84755

Ertaş Öztürk, Y., Yıldıran, O., Baycan, B., & Kadıoğlu, S. (2024). Evaluatıon of Pharmacy Employees' Usage of Herbal Products and Knowledge about Food–Drug Interactions. *Journal of Advanced Research in Health Sciences*, *7*(2), 124–131. https://doi.org/10.26650/JARHS2024-1341284

Karagöz, M. F., Gezmen Karadağ, M., Yıldıran, H., & Akçil Ok, M. (2022). Developing a Food and Drug Interaction Knowledge Scale for Health Care Professionals: A Validity and Reliability Study. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *13*(1), 48–59. https://doi.org/10.22312/sdusbed.1033924

Khong, J. H. C., Tuan Mahmood, T. M., Tan, S. L., Voo, J. Y. H., & Wong, S. W. (2024). Knowledge, attitude and practice (KAP) on food-drug interaction (FDI) among pharmacists working in government health facilities in Sabah, Malaysia. *PloS One*, *19*(7), e0304974. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304974

Korylchuk, N., Pelykh, V., Nemyrovych, Y., Didyk, N. & Martsyniak, S. (2024). Challenges and Benefits of a Multidisciplinary Approach to Treatment in Clinical Medicine. *Journal of Pioneering Medical Sciences*, *13*(3), 1–9. https://doi.org/10.61091/jpms202413301

Mishra, M., Dana, S., Kurup, P., Kureshi, U., Vijayan, S., & Dave, N. (2024). Anxiety, stress, depression and burnout among health care worker during covid wave: a retrospective study. *Medical Research Archives*, *12*(1). https://doi.org/10.18103/mra.v12i1.4628

Öztürk, M. H., & Aslan, D. (2024). Halk Sağlığı Perspektifiyle Besin-İlaç Etkileşimleri. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, *9*(2), 213–223. https://doi.org/10.35232/estudamhsd.1336677

Rosseel, Z., Wuyts, S. C. M,, Desmedt, M., von Winckelmann, S., de Waele, E., Ligneel, C., & Cortoos, P. J. (2025) Nutritional management of survivors of critical illness: The clinical pharmacists' role. Clinical Nutrition Open Science, 62, 127–138. https://doi.org/10.1016/j.nutos.2025.06.002

Sarybay, U., Kabibolla, S., Adilmetova, G., Nassyrov, R., Meyerbekova, A., Sarría-Santamera, A., Yergaliyev, K. A., & Chan, M. Y. (2025). Level of nutrition competencies among healthcare professionals and medical students in Kazakhstan. *BMJ Nutrition, Prevention & Health*, *8*(1), e000972. https://doi.org/10.1136/bmjnph-2024-000972

Sincan, S., Sincan, G., Tanrıverdi, E. Ç., Bayraktar, M., Şahingöz, M., Özkurt, Z., & Çayır, Y. (2025). Evaluation of Demographic Characteristics, Working Conditions, Depression, Anxiety and Insomnia Levels of Health Workers During the COVID-19 Pandemic Period. *Bagcilar Medical Bulletin*, *10*(2), 106–115. https://doi.org/10.4274/BMB.galenos.2025.2023-05-046

Şenyurt, A. Y., & Kocabaş, D. (2024). Burnout Levels of Healthcare Professionals During the Covid-19 Pandemic Period: A Mixed Model Research. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, *15*(44), 1152–1164. https://doi.org/10.21076/vizyoner.1445757

Yin, J. D., & Lui, J. N. (2024). Factors influencing risk perception during Public Health Emergencies of International Concern (PHEIC): a scoping review. *BMC Public Health*, *24*(1), 1372. https://doi.org/10.1186/s12889-024-18832-z

MİKRO VE NANOPLASTİKLERE KARŞI BİYOLOJİK BİR STRATEJİ: LAKTİK ASİT BAKTERİLERİ VE POSTBİYOTİKLERLE BAĞLANMA

Doç. Dr. Tuğba DEMİR
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology, 58140 Sivas, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5195-9372

ÖZET
Mikro- ve nanoplastikler (MNP), ambalaj materyalleri, mutfak gereçleri ve çevresel kirlilik yoluyla gıda zincirine giren ve insan maruziyetinin büyük ölçüde diyet yoluyla gerçekleştiği yeni nesil kontaminantlardır. MNP'lerin oksidatif stres, inflamasyon ve bağırsak bariyer bozukluğu ile ilişkilendirilmesi, maruziyetin azaltılmasına yönelik stratejileri gündeme getirmiştir. Ancak bu partiküller biyolojik olarak parçalanamadığından, vücuda alındıktan sonra uzaklaştırılmalarına yönelik yerleşik bir yöntem bulunmamaktadır. Bu derlemede, gıda kaynaklı laktik asit bakterileri (LAB) ve bunlardan elde edilen postbiyotiklerin MNP'leri bağlama kapasitesine ilişkin güncel literatür (2024–2026) değerlendirilmiştir. Çalışmalar, Lacticaseibacillus paracasei, Lactiplantibacillus plantarum, Leuconostoc mesenteroides ve Lactiplantibacillus pentosus gibi suşların polistiren ve polietilen tereftalat partiküllerini, hücre yüzeyindeki protein ve polisakkarit kökenli fonksiyonel gruplar aracılığıyla, ağırlıklı olarak fiziksel adsorpsiyon ve agregasyon yoluyla tuttuğunu göstermektedir. Fare modellerinde seçilmiş probiyotik suşların fekal polistiren atılımını artırdığı, bağırsakta kalan partikül miktarını belirgin biçimde azalttığı ve sıkı bağlantı proteinlerinin ekspresyonunu artırarak inflamasyonu hafiflettiği bildirilmiştir. Bazı yoğurt starter suşlarının canlı olmasalar dahi nanoplastiklerin bağırsak epitel hücrelerine girişini baskıladığı ve ısıyla inaktive edilmiş postbiyotik preparatların nanoplastik bağlayabildiği de gösterilmiştir. Bununla birlikte bağlama etkinliği suşa, polimer tipine ve partikül boyutuna göre büyük farklılık göstermekte; bağlanmanın gastrointestinal koşullardaki kalıcılığına ilişkin veriler ve insan çalışmaları oldukça sınırlı kalmaktadır. Sonuç olarak, LAB ve postbiyotikler MNP maruziyetinin olumsuz etkilerini azaltmada güvenli ve gıdaya uygun, umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşımın gıda güvenliği uygulamalarına aktarılabilmesi için standart analitik yöntemlere, doz-yanıt çalışmalarına ve kontrollü insan çalışmalarına ihtiyaç vardır.
Anahtar kelimeler: Mikroplastik, nanoplastik, laktik asit bakterileri, postbiyotik, biyoadsorpsiyon, gıda güvenliği

A BIOLOGICAL STRATEGY AGAINST MICRO- AND NANOPLASTICS: BINDING BY LACTIC ACID BACTERIA AND POSTBIOTICS

ABSTRACT
Micro- and nanoplastics (MNPs) are emerging contaminants that enter the food chain through packaging materials, kitchen utensils and environmental pollution, with diet being the predominant route of human exposure. The association of MNPs with oxidative stress, inflammation and intestinal barrier dysfunction has drawn attention to strategies for reducing exposure. However, since these particles are not biodegradable, there is no established method for removing them once ingested. This review evaluates the recent literature (2024–2026) on the MNP-binding capacity of food-derived lactic acid bacteria (LAB) and their postbiotics. Studies show that strains such as Lacticaseibacillus paracasei, Lactiplantibacillus plantarum,

Leuconostoc mesenteroides and Lactiplantibacillus pentosus retain polystyrene and polyethylene terephthalate particles mainly through physical adsorption and aggregation, mediated by protein- and polysaccharide-derived functional groups on the cell surface. In mouse models, selected probiotic strains increased faecal excretion of polystyrene, markedly reduced the amount of particles retained in the intestine, and alleviated inflammation by upregulating tight junction proteins. Certain yogurt starter strains suppressed the uptake of nanoplastics by intestinal epithelial cells even when non-viable, and heat-inactivated postbiotic preparations were also shown to bind nanoplastics. Nevertheless, binding efficiency varies widely with strain, polymer type and particle size, while data on the stability of binding under gastrointestinal conditions and human studies remain very limited. In conclusion, LAB and postbiotics offer a promising, safe and food-compatible approach for mitigating the adverse effects of MNP exposure. Standardised analytical methods, dose-response studies and controlled human trials are needed before this approach can be translated into food safety practice.
Keywords: Microplastics, nanoplastics, lactic acid bacteria, postbiotics, biosorption, food safety

1. INTRODUCTION

The widespread use of plastics in packaging, agriculture, textiles and consumer products leads to the accumulation of these materials in the environment and to their fragmentation into progressively smaller particles through physical, chemical and biological processes. Particles smaller than 5 mm are defined as microplastics (MPs) and those smaller than 1 µm as nanoplastics (NPs), and together they are referred to as micro- and nanoplastics (MNPs). MNPs enter the food chain via seafood, food additives, packaging materials, and agricultural and industrial products, with packaging standing out as one of the major sources of MPs in foods (Al-Mansoori et al., 2026; Eze et al., 2024).

The presence of MNPs in foods has now been documented in numerous matrices. A systematic review evaluating 76 studies on exposure via food and drinking water reported that MNPs occur in seafood, drinking water, table salt, fruits and vegetables, beverages, condiments and meat products; that the estimated daily intake (EDI) varied over an extremely wide range of 0.0002 to 1,531,524 particles/day; and that the highest value originated from bottled water. The same study emphasized that the quality scores of the studies remained moderate (Heo et al., 2025). In foods collected from the United Kingdom market, MPs were detected in all samples analyzed; the highest mean concentrations were determined in table salt (173 ± 94 MPs/kg), honey (101 ± 73 MPs/kg) and sugar (94 ± 17 MPs/kg), whereas milk contained 19 ± 6 MPs/L (Figure 1). The predominance of polypropylene (PP), polyethylene (PE) and polyethylene terephthalate (PET) as the main polymers indicated that packaging is an important source (Al-Mansoori et al., 2026).

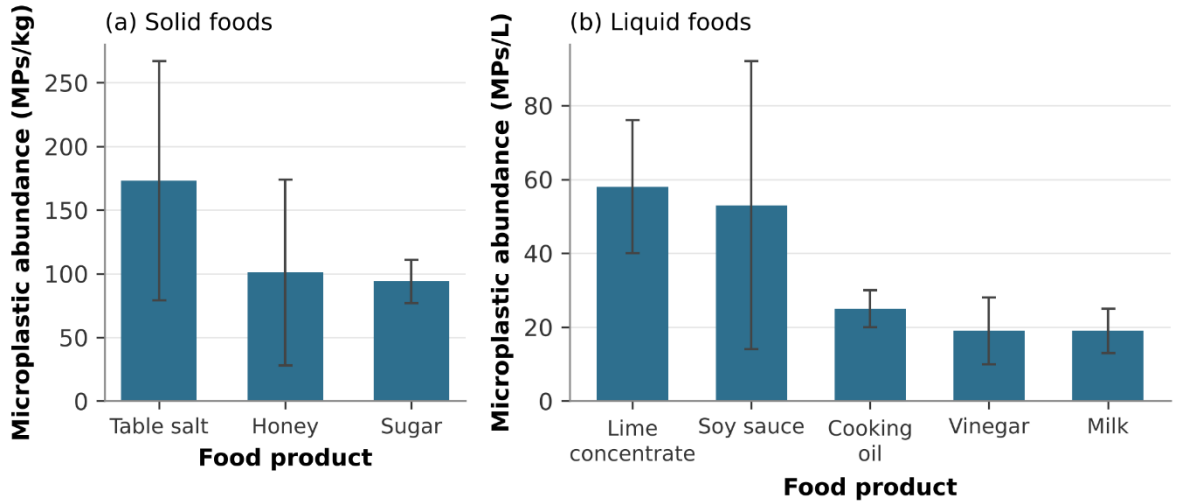


Figure 1. Mean (± SD) microplastic abundance in commercial food products from the United Kingdom market: (a) solid foods and (b) liquid foods (data from Al-Mansoori et al., 2026).

Evidence that dietary MNPs can accumulate in the human body is also growing rapidly. MPs were first demonstrated in the human placenta in 2021 (Ragusa et al., 2021); subsequently, in a study using pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry, they were detected in all 62 placental samples at a mean level of 126.8 ± 147.5 µg/g. In this study, the most prevalent polymer was PE, accounting for 54% of the total MNP mass (Garcia et al., 2024). MPs have also been reported in feces, lung, liver, sputum, breast milk and blood (Barceló et al., 2023).

With respect to health effects, in vitro and animal studies associate MNP exposure with oxidative stress, inflammatory responses, intestinal barrier dysfunction and microbiota dysbiosis; however, this evidence is largely based on model systems, and robust biomarker studies are needed to understand the actual burden and effects in the human body (Pacher-Deutsch et al., 2025; Ruggieri et al., 2025). The main factors complicating risk assessment are the lack of standard definitions, reference materials, sample preparation methods and fit-for-purpose analytical methods for food matrices (Duncan et al., 2024; Ruggieri et al., 2025). No accepted health-based guidance value has yet been established for MNPs. In one of the first attempts to fill this gap, a hazardous concentration (HC5) of 0.596 µg/kg body weight/day was proposed using the health effect sensitivity distribution (HESD) method, and the hazard quotient (HQ) was calculated to exceed 1 for 14.1% of school-age children in Shanghai (Tang et al., 2026).

Although source control (improvement of packaging and food contact materials) is the priority in reducing exposure, because MNPs are not biodegradable, there is no established method to enable their elimination once they have been ingested (Teng et al., 2025). Lactic acid bacteria (LAB), as food-derived microorganisms regarded as safe, have long been studied for their capacity to bind contaminants such as mycotoxins and heavy metals to their cell surfaces (Demir and Demir 2021; Chen et al., 2025). The idea that this binding ability may also be applicable to MNPs has created a new research area in recent years. The aim of this study is to evaluate, in light of the current literature, the mechanisms by which LAB and postbiotics derived from them bind MNPs, their in vitro and in vivo efficacy, and the limitations of this approach from a food safety perspective.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Literature Search Approach

This study was prepared as a narrative review. The literature search was conducted through an academic search engine covering Semantic Scholar, OpenAlex and PubMed records, focusing mainly on the years 2023–2026. The keywords "lactic acid bacteria", "probiotic", "postbiotic", "microplastic", "nanoplastic", "adsorption", "biosorption" and "excretion" and their combinations were used in the searches. Original studies examining the interaction of LAB or postbiotics with MNPs at the in vitro, cell culture, animal model or human proof-of-concept level, as well as reviews addressing the topic, were included in the evaluation.

2.2. Mechanisms of MNP Binding by Lactic Acid Bacteria

Current studies show that LAB retain MNPs predominantly through physical adsorption and aggregation rather than through biological degradation. *Lactobacillus* strains isolated from infant feces were reported to adsorb PP, PE and polyvinyl chloride (PVC) nanoplastics at rates of 78.57%, 71.59% and 66.57%, respectively; binding to the cell surface increased as particle size decreased, and the hydrophobicity of both the particles and the bacterial cells influenced the process. The same study showed that the binding efficiency of whole cells was higher than that of individual cell components, and molecular dynamics analyses showed that electrostatic interactions, van der Waals forces and hydrogen bonds were decisive, with hydrophobic interactions also contributing to the process (Zhao et al., 2023).

The food-derived *Leuconostoc mesenteroides* strain CBA3656 exhibited high and rapid biosorption over a wide range of conditions, including nanoplastic concentrations of 10–200 ppm, pH 3–9 and 4–55 °C. The fit of the process to pseudo-first-order kinetics and the Langmuir isotherm model suggested that the dominant mechanism was physical adsorption; Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) revealed that P=O, C=O and C–O–C functional groups in cell wall and membrane components were involved in the interaction (Lee et al., 2026). In the *Lactiplantibacillus pentosus* strain GH14 isolated from traditional Korean soy sauce, high cell surface hydrophobicity, strong biofilm formation, high exopolysaccharide production and aggregation behavior were observed together; it was demonstrated microscopically that polystyrene (PS) and PET particles were retained within dense bacterial aggregates. In this strain, adsorption was reported to be affected mainly by contact time and particle concentration, whereas the effect of temperature remained relatively limited (Kim et al., 2026).

These findings are consistent with the general framework of contaminant-binding mechanisms of LAB. Peptidoglycan, teichoic acids, surface proteins and exopolysaccharides in the cell wall can bind different contaminants through hydrophobic, electrostatic and hydrogen-bonding interactions, and the thermodynamic and kinetic properties of these interactions vary according to the strain and the contaminant (Chen et al., 2025).

2.3. In Vivo Studies: Enhancing Excretion and Protecting Intestinal Health

The protective potential of LAB against MNPs is also supported in animal models. In a study in which the ability of 784 bacterial strains to adsorb 0.1 µm PS particles was screened using a high-throughput method, *Lacticaseibacillus paracasei* DT66 and *Lactiplantibacillus plantarum* DT88 showed the highest in vitro adsorption and were also found to be effective against different MP types. In mice fed these probiotics, the PS excretion rate increased by 34%, while the amount of PS particles remaining in the intestine decreased by 67%. Administration of *L. plantarum* DT88 also alleviated PS-induced intestinal inflammation (Teng et al., 2025).

In a study comparing LAB strains with different binding capacities, strains with high in vitro binding capacity were found to reduce MNP-induced toxicity more effectively. However, the fact that *L. plantarum* DT22 exerted a significant protective effect despite its low binding

capacity, by increasing the expression of tight junction proteins and modulating the gut microbiota, revealed that the effect of LAB is not limited to binding alone and that the ability to repair the damaged intestinal environment is also decisive (Shi et al., 2025).

The *L. plantarum* strain ZP-6, isolated from human feces and possessing in vitro MP-binding activity, reduced the accumulation of PS nanoplastics in blood and tissues, increased their fecal excretion, and brought the histopathology of the liver, kidney and colon closer to control levels in healthy and colitic mouse models. Mechanistically, it was reported that proinflammatory cytokines such as IL-1β, IL-6 and TNF-α decreased; the expression of the mucin gene *Muc2* and of tight junction components such as occludin and claudin-1 increased; and hepatic metabolic disorders were ameliorated via the gut-liver axis (Zhao et al., 2025). The *Leuc. mesenteroides* strain CBA3656 was also shown to perform better than other strains in simulated intestinal fluid and to significantly increase the fecal excretion of nanoplastics in vivo (Lee et al., 2026). These studies suggest that the protective effect relies on two complementary mechanisms: binding of the particles and their elimination with the feces, and limitation of translocation by strengthening of the intestinal barrier.

2.4. Non-Viable Cells and Postbiotics

Postbiotics are defined as preparations of inanimate microorganisms and/or their components that confer a health benefit on the host (Salminen et al., 2021). Because they do not require viability, which provides advantages in terms of stability and safety during processing, storage and shelf life, the use of postbiotics for MNP binding is attracting attention. The yogurt starter cultures *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131 were shown to significantly suppress the cellular uptake and transcellular permeability of fluorescently labeled PS nanoplastics in differentiated Caco-2 cell monolayers, even when non-viable. This effect was reported to be strain-dependent, with these two strains exhibiting the strongest effect among numerous strains of the same species (Kobayashi et al., 2026).

The postbiotic Qi601, obtained from heat-inactivated *Limosilactobacillus fermentum* biofilm, was reported to bind PS nanoplastics persistently under simulated digestion conditions and to reduce surface-bound and intracellular nanoplastic loads in Caco-2 cells in both protection and rescue models. The same study also presented the first human proof of concept, in which MP fragments released during chewing gum mastication were bound by this postbiotic in the human mouth (Berkes et al., 2026). However, it should be borne in mind that this study is a preprint that has not yet undergone peer review. The main studies evaluated are summarized in Table 1.

Table 1. Selected studies on the binding of micro- and nanoplastics by lactic acid bacteria and postbiotics

Strain / preparation	MNP type	Model	Key finding	Reference
Lactobacillus spp. (infant feces)	PP, PE, PVC (NP)	In vitro	Adsorption 66.6–78.6%; higher binding of smaller particles	Zhao et al. (2023)
L. paracasei DT66, *L. plantarum* DT88	PS (0.1 µm)	Screening of 784 strains; mouse	PS excretion increased by 34%; PS remaining in the intestine decreased by 67%	Teng et al. (2025)
Various LAB strains (including *L. plantarum* DT22)	PS (MP and NP)	Mouse	Protection depends on barrier repair in addition to binding	Shi et al. (2025)
L. plantarum ZP-6	PS (NP)	Healthy and colitic mice	Tissue accumulation reduced; cytokines decreased; tight junctions strengthened	Zhao et al. (2025)
Leuc. mesenteroides CBA3656	NP	In vitro; mouse	Langmuir-compliant physical adsorption; fecal excretion increased	Lee et al. (2026)

Strain / preparation	MNP type	Model	Key finding	Reference
Lp. pentosus GH14	PS, PET	In vitro	Retention within aggregates via hydrophobicity, biofilm and EPS	Kim et al. (2026)
L. bulgaricus 2038, *S. thermophilus* 1131	PS (NP)	Caco-2	Cellular uptake and permeability reduced even when non-viable	Kobayashi et al. (2026)
Qi601 (heat-inactivated *L. fermentum*)	PS (NP), chewing gum-derived MP	Caco-2; human mouth	Postbiotic binding; first human proof of concept (preprint)	Berkes et al. (2026)

2.5. Limitations and Research Needs

Despite the promising findings, there are important limitations to the translation of this approach into practice. First, binding efficiency is highly strain-specific; marked differences are observed even between strains of the same species (Kobayashi et al., 2026; Teng et al., 2025). Second, most studies use uniform spherical PS particles as model particles. In contrast, the MNPs detected in foods are heterogeneous particles in the form of fibers and fragments, composed predominantly of polymers such as PP, PE and PET (Al-Mansoori et al., 2026). Third, it is unclear to what extent the MNP doses used in experiments reflect realistic dietary exposure; the lack of standardization of the methods used to measure MNP concentrations in foods makes this comparison even more difficult (Duncan et al., 2024; Heo et al., 2025).

Fourth, the persistence of binding under the variable pH, bile salt and digestive enzyme conditions of the gastrointestinal tract, and whether bound particles are re-released, have not been sufficiently investigated. Fifth, the possible effects of MNPs on the probiotic functions of the binding strains themselves have not yet been adequately examined; in strain selection, not only binding capacity but also the preservation of functionality under exposure needs to be evaluated. Finally, controlled human studies are virtually nonexistent, and the only available human proof of concept has not yet undergone peer review (Berkes et al., 2026).

From a food safety perspective, the most suitable application areas for this approach emerge as the use of strains with high MNP-binding capacity as starter or adjunct cultures in fermented dairy products, their incorporation into functional foods and supplements, and the development of highly stable postbiotic formulations. In this field, the identification of genes and surface components responsible for binding through multi-omics approaches and the testing of efficacy-enhancing strategies such as co-culture and immobilization are recommended (Chen et al., 2025).

3. CONCLUSION

Micro- and nanoplastics are emerging contaminants that are widespread in the food chain, can accumulate in human tissues, and for which the analytical and toxicological data required for risk assessment remain insufficient. Although source control continues to be the principal means of reducing exposure, safe strategies for eliminating ingested particles from the body are also needed.

The literature evaluated shows that food-derived lactic acid bacteria and postbiotics can bind MNPs predominantly through physical adsorption and aggregation, and that in animal models they increase the fecal excretion of particles, reduce tissue accumulation, and alleviate inflammation by strengthening the intestinal barrier. The fact that non-viable cells and postbiotics can also be effective offers an important opportunity for stable and safe food applications.

Nevertheless, efficacy varies considerably according to strain, polymer type and particle size;

most studies are conducted with model PS particles and high doses; and the persistence of binding under digestive conditions and efficacy in humans have not yet been proven. Therefore, before LAB and postbiotics can be recommended as a food safety tool against MNP exposure, dose-response studies conducted with standardized analytical methods, real food-derived particle mixtures and realistic doses, as well as controlled human studies, are needed.

REFERENCES

Al-Mansoori, M., Harrad, S., & Abdallah, M. A.-E. (2026). Microplastics in commercial food products from the United Kingdom market: Implications for human exposure. *Environmental Research*, *288*, 123178. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123178

Barceló, D., Picó, Y., & Alfarhan, A. H. (2023). Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *101*, 104204. https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204

Berkes, E. A., Oron, O., Wood, A. K., Monsul, P. N., & Monsul, N. T. (2026). *Postbiotic binding of micro- and nanoplastics: In vitro intestinal epithelial protection and proof of concept in the human mouth* [Preprint]. bioRxiv. https://doi.org/10.64898/2026.05.11.724280

Chen, Q., Liu, H., Yu, H., Chen, C., & Tian, H. (2025). Lactic acid bacteria as promising dietary-derived bioadsorbents for foodborne contaminants: Mechanism, application advances and future perspectives. *Food Chemistry*, *496*, 146748. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146748

Demir, T., & Demir, H. (2021). Inhibitory effect of probiotics *Lactobacillus* supernatants against *Streptococcus mutans* and preventing biofilm formation. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(2), 339-345. https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i2.339-345.3954

Duncan, T. V., Khan, S. A., Patri, A. K., & Wiggins, S. (2024). Regulatory science perspective on the analysis of microplastics and nanoplastics in human food. *Analytical Chemistry*, *96*(11), 4343–4358. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.3c05408

Eze, C. G., Nwankwo, C. E., Dey, S., Sundaramurthy, S., & Okeke, E. S. (2024). Food chain microplastics contamination and impact on human health: A review. *Environmental Chemistry Letters*, *22*(4), 1889–1927. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01734-2

Garcia, M. A., Liu, R., Nihart, A., El Hayek, E., Castillo, E., Barrozo, E. R., Suter, M. A., Bleske, B., Scott, J., Forsythe, K., Gonzalez-Estrella, J., Aagaard, K. M., & Campen, M. J. (2024). Quantitation and identification of microplastics accumulation in human placental specimens using pyrolysis gas chromatography mass spectrometry. *Toxicological Sciences*, *199*(1), 81–88. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfae021

Heo, S. J., Moon, N., & Kim, J. H. (2025). A systematic review and quality assessment of estimated daily intake of microplastics through food. *Reviews on Environmental Health*, *40*(2), 371–392. https://doi.org/10.1515/reveh-2024-0111

Kim, G.-H., Awais, M., Lee, J. M., & Kim, J.-H. (2026). Physicochemical adsorption and entrapment of polystyrene and poly(ethylene terephthalate) micro/nanoplastics by a food-associated *Lactiplantibacillus pentosus* strain isolated from Korean traditional soy sauce. *Environmental Technology & Innovation*, *43*, 105149. https://doi.org/10.1016/j.eti.2026.105149

Kobayashi, K., Ogawa, M., Mochizuki, J., & Sashihara, T. (2026). *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131 suppress polystyrene nanoplastic transcellular permeability and internalization by intestinal epithelial cells. *Scientific Reports*, *16*, 9109. https://doi.org/10.1038/s41598-026-39631-z

Lee, J., Lee, M. J., Jung, M.-J., Kim, Y. B., Kim, Y., Yun, J. U., Nam, S., Oh, Y. J., Whon, T.

W., & Lee, S. H. (2026). Efficient biosorption of nanoplastics by food-derived lactic acid bacterium. *Bioresource Technology*, *447*, 134234. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2026.134234

Pacher-Deutsch, C., Schweighofer, N., Hanemaaijer, M., Marut, W., Žukauskaitė, K., Horvath, A., & Stadlbauer, V. (2025). The microplastic-crisis: Role of bacteria in fighting microplastic-effects in the digestive system. *Environmental Pollution*, *366*, 125437. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125437

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, *146*, 106274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274

Ruggieri, F., Battistini, B., Sorbo, A., Senofonte, M., Leso, V., Iavicoli, I., & Bocca, B. (2025). From food-to-human microplastics and nanoplastics exposure and health effects: A review on food, animal and human monitoring data. *Food and Chemical Toxicology*, *196*, 115209. https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.115209

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *18*(9), 649–667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6

Shi, L., Teng, X., Wu, C., Zhang, T., Jin, X., Wang, L., Tian, P., Shang, K.-X., Zhao, J., Rao, C., & Wang, G. (2025). Lactic acid bacteria reduce polystyrene micro- and nanoplastics-induced toxicity through their bio-binding capacity and gut environment repair ability. *Environmental Pollution*, *366*, 125288. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125288

Tang, Z., Guo, K., Zhang, Z., Fang, D., & Zhou, Y. (2026). Exploring a health effect sensitivity distribution method for deriving microplastic toxicity thresholds: Application to microplastic risk assessment of school-aged children in Pudong, Shanghai. *Food and Chemical Toxicology*, *212*, 116015. https://doi.org/10.1016/j.fct.2026.116015

Teng, X., Zhang, T., & Rao, C. (2025). Novel probiotics adsorbing and excreting microplastics in vivo show potential gut health benefits. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1522794. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1522794

Zhao, L., Dou, Q., Chen, S., Wang, Y., Yang, Q., Chen, W., Zhang, H., Du, Y., & Xie, M. (2023). Adsorption abilities and mechanisms of *Lactobacillus* on various nanoplastics. *Chemosphere*, *320*, 138038. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138038

Zhao, L., Wei, Z., Wang, Y., Chen, W., Zhang, W., Xie, M., Chen, H., Zhang, Y., Gao, H., & Jiang, X. (2025). *Lactiplantibacillus plantarum* ZP-6 mitigates polystyrene nanoplastics-induced liver damage in colitis mice via the gut-liver axis. *Frontiers in Microbiology*, *16*, 1626941. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1626941

GIDALARDA MİKOTOKSİNLERİN BİRLİKTE BULUNMASI VE KÜMÜLATİF RİSK DEĞERLENDİRMESİ: TEK TOKSİN YAKLAŞIMININ SINIRLARI

Doç. Dr. Tuğba DEMİR
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology, 58140 Sivas, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5195-9372

ÖZET
Mikotoksinler, gıda ve yemlerde en sık rastlanan doğal kontaminantlar arasında yer almakta ve kanserojen, hepatotoksik, nefrotoksik, immünotoksik ve nörotoksik etkileriyle önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır. Mevcut yasal düzenlemeler ve risk değerlendirmeleri büyük ölçüde tek bir toksinin tek bir gıdadaki düzeyine dayanırken, gerçek maruziyet senaryosu çoğunlukla birden fazla mikotoksinin eş zamanlı bulunmasıdır. Bu derlemede, düzenlenmiş ve yeni nesil (emerging) mikotoksinlerin birlikte bulunma örüntüleri, kombine toksik etkileri ve kümülatif risk değerlendirme yaklaşımlarına ilişkin güncel literatür (2024–2026) değerlendirilmiştir. Literatür, bebek gıdaları ve tahıl bazlı ürünlerde örneklerin önemli bir bölümünde iki veya daha fazla mikotoksinin birlikte bulunduğunu; enniatinler, boverisin, Alternaria toksinleri ve sterigmatosistin gibi yasal limiti bulunmayan bileşiklerin düzenlenmiş toksinlere sıklıkla eşlik ettiğini göstermektedir. Hücre kültürü çalışmalarında ikili kombinasyonların yaklaşık %70'inin sinerjik veya aditif etki gösterdiği, okratoksin A'nın etkileşimlerinin büyük kısmının sinerjik olduğu ve etkileşim tipinin doza bağlı olarak antagonizmden sinerjiye dönüşebildiği bildirilmiştir. Bireysel tahmini günlük alım değerleri sağlık temelli kılavuz değerlerin altında kalsa bile, bazı bebek gıdası kategorilerinde aflatoksinler ve okratoksin A için maruziyet marjı (MOE) değerlerinin 10.000'in altına düştüğü ve Alternaria toksinlerinde toksikolojik kaygı eşiklerinin aşıldığı görülmektedir. Bu bulgular, tek toksin yaklaşımının özellikle bebek ve çocuklar gibi hassas gruplarda riski olduğundan düşük gösterebileceğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, yeni nesil mikotoksinlerin izleme programlarına dahil edilmesi, tehlike indeksi ve nispi potens faktörü gibi karışım odaklı kümülatif risk değerlendirme çerçevelerinin benimsenmesi ve kombine toksisiteye yönelik in vivo veri üretilmesi gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Mikotoksin, birlikte bulunma, kümülatif risk, kombine toksisite, maruziyet marjı, gıda güvenliği

CO-OCCURRENCE OF MYCOTOXINS IN FOODS AND CUMULATIVE RISK ASSESSMENT: LIMITATIONS OF THE SINGLE-TOXIN APPROACH

ABSTRACT
Mycotoxins are among the most frequent natural contaminants of food and feed and represent a major public health concern owing to their carcinogenic, hepatotoxic, nephrotoxic, immunotoxic and neurotoxic effects. While current regulations and risk assessments are largely based on the level of a single toxin in a single food, the real-life exposure scenario usually involves the simultaneous presence of several mycotoxins. This review evaluates the recent literature (2024–2026) on co-occurrence patterns of regulated and emerging mycotoxins, their combined toxic effects and cumulative risk assessment approaches. The literature shows that two or more mycotoxins co-occur in a considerable proportion of infant foods and cereal-based products, and that unregulated compounds such as enniatins, beauvericin, Alternaria toxins and

sterigmatocystin frequently accompany regulated toxins. In cell culture studies, approximately 70% of binary combinations showed synergistic or additive effects, most interactions involving ochratoxin A were synergistic, and the type of interaction could shift from antagonism to synergism depending on the dose. Even when individual estimated daily intakes remain below health-based guidance values, margin of exposure (MOE) values for aflatoxins and ochratoxin A fall below 10,000 in some infant food categories, and thresholds of toxicological concern are exceeded for Alternaria toxins. These findings indicate that the single-toxin approach may underestimate the risk, particularly in vulnerable groups such as infants and children. In conclusion, emerging mycotoxins should be included in monitoring programmes, mixture-oriented cumulative risk assessment frameworks such as the hazard index and relative potency factor approaches should be adopted, and in vivo data on combined toxicity should be generated.
Keywords: Mycotoxins, co-occurrence, cumulative risk, combined toxicity, margin of exposure, food safety

1. INTRODUCTION

Mycotoxins are toxic secondary metabolites produced by filamentous fungi, primarily of the genera *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium*, during the pre-harvest and post-harvest periods. Aflatoxins, ochratoxins, fumonisins, zearalenone and trichothecenes are among the groups of greatest concern owing to their widespread occurrence and high toxicity. Through their carcinogenic, neurotoxic, nephrotoxic, hepatotoxic and immunotoxic effects, these compounds threaten human and animal health and also cause substantial economic losses (Adelusi et al., 2026). Aflatoxins have been classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as carcinogenic to humans (Group 1) (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2012).

In the European Union, the legislation on mycotoxins in food is based on a single-toxin approach that defines maximum permitted levels for a given toxin in a given food category (European Commission, 2023). Risk assessments are likewise conducted largely on a compound-by-compound basis. For non-genotoxic mycotoxins, the estimated daily intake (EDI) is compared with health-based guidance values (HBGVs) such as the tolerable daily or weekly intake, whereas the margin of exposure (MOE) approach is applied to genotoxic and carcinogenic compounds. The European Food Safety Authority (EFSA) has adopted the MOE approach for aflatoxins and ochratoxin A and has stated that MOE values below 10,000 indicate a possible health concern (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain [CONTAM], 2020a, 2020b).

However, the real-world exposure scenario usually arises not from a single toxin but from the simultaneous presence of multiple mycotoxins in the same food or in the total diet. The co-occurrence of mycotoxins in cereals and cereal products is a major food safety issue, as it may give rise to additive or even synergistic toxic effects (Arce-López et al., 2024). Added to this picture are emerging mycotoxins without regulatory limits, such as enniatins, beauvericin, moniliformin, sterigmatocystin and *Alternaria* toxins (Jin et al., 2026; Kolawole et al., 2024). The effects of climate change on fungal growth and toxin production also stand out as a factor that may alter contamination patterns (Adelusi et al., 2026).

The aim of this study is to evaluate, in light of the current literature, the co-occurrence patterns of regulated and emerging mycotoxins in foods, their combined toxic effects and cumulative risk assessment approaches, and to discuss the limitations of the single-toxin approach, particularly with respect to vulnerable groups.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Literature Search Approach

This study was prepared as a narrative review. The literature search was conducted through an academic search engine covering Semantic Scholar, OpenAlex and PubMed records, focusing primarily on the years 2024–2026. The keywords "mycotoxin co-occurrence", "combined exposure", "cumulative risk assessment", "emerging mycotoxins", "margin of exposure" and "combined toxicity" were used in the searches. Food monitoring studies providing co-occurrence data, in vitro studies investigating combined toxicity, reviews and EFSA guidance documents on combined exposure were included in the evaluation.

2.2. Co-occurrence Patterns of Mycotoxins

A systematic review examining the global distribution of emerging mycotoxins in commodities and feeds identified nivalenol, enniatins, beauvericin, diacetoxyscirpenol, fusaric acid, patulin, moniliformin and sterigmatocystin as the most prevalent contaminants in cereals and other feed ingredients. Pooled mean levels were calculated as 386 µg/kg for beauvericin, 421 µg/kg for nivalenol, 7,854 µg/kg for enniatins, 204 µg/kg for moniliformin and 136 µg/kg for sterigmatocystin; it was emphasized that the co-occurrence of these compounds with one another and with regulated mycotoxins markedly affects animal performance even at low levels (Kolawole et al., 2024).

Infant foods are the product group in which co-occurrence is most critical, owing to their high consumption relative to body weight. In a study examining 199 samples collected from an infant food manufacturer in China, 79.6% of processed infant foods and 65.1% of raw materials were found to be contaminated with mycotoxins; the co-occurrence of more than two mycotoxins was found in 61.3% of processed products and 53.8% of raw materials. Deoxynivalenol (DON) and tenuazonic acid (TeA) were the most prevalent toxins, and wheat flour and its derivatives (infant noodles, infant biscuits) showed the highest levels and the most diverse contamination (Ji et al., 2024). In a study examining 393 infant food samples in Brazil, at least one mycotoxin was detected in 80% of cereal-based products; the co-occurrence rate of two to five mycotoxins was reported as 67% in cereal-based products, 33.9% in fruit-based products and 16.8% in milk-based products (Ullah, 2026).

Similar patterns are observed in monitoring studies targeting general food consumption. In a study in Korea in which 365 food samples were analyzed for 20 mycotoxins by LC-MS/MS, at least one mycotoxin was detected in 7.8% of the samples and two or more in 4.4%; the most frequent co-occurrence was observed among DON, fumonisins and zearalenone, and the highest concentration was determined for nivalenol at 3,110 µg/kg (Lee et al., 2025). A review on spices, dried herbs and botanical food supplements indicated that chili flakes, paprika, ginger and pepper varieties are high-risk products and that the presence of multiple toxins raises concerns about cumulative effects even when each occurs individually at low to moderate levels (Kanabus et al., 2026). Findings from selected studies are summarized in Table 1 and Figure 2.

Table 1. Selected studies on the co-occurrence of mycotoxins in foods and risk characterization

Country / matrix	Number of samples	Contamination	Co-occurrence	Risk outcome	Reference
China / infant foods and raw materials	199	Processed products 79.6%; raw materials 65.1%	>2 toxins: 61.3% and 53.8%	Acceptable for OTA, DON, ZEN; TTC exceeded for AME, AOH, TeA	Ji et al. (2024)

Country / matrix	Number of samples	Contamination	Co-occurrence	Risk outcome	Reference
Brazil / infant foods	393	Cereal-based 80%; milk-based 51.6%	2–5 toxins: cereal 67%, fruit 33.9%, milk 16.8%	HQ < 1; MOE < 10,000 for aflatoxins and OTA in some categories	Ullah (2026)
Korea / various foods	365	At least one toxin 7.8%	≥2 toxins 4.4% (DON + FB + ZEN)	Safe at mean consumption; risk under high-consumption scenario	Lee et al. (2025)
Global / cereals and feeds (systematic review)	–	Emerging toxins prevalent (ENN mean 7,854 µg/kg)	Frequent co-occurrence with regulated toxins	Call for cumulative assessment	Kolawole et al. (2024)

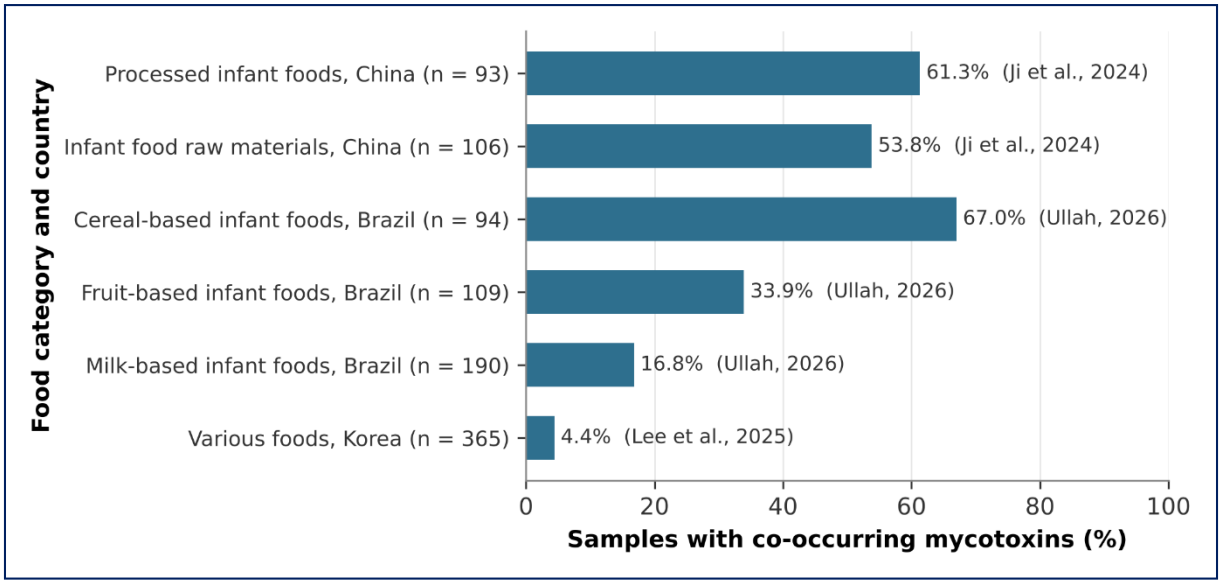


Figure 2. Proportion of samples with co-occurring mycotoxins in selected studies. Ji et al. (2024) reported more than two mycotoxins, Ullah (2026) two to five mycotoxins and Lee et al. (2025) two or more mycotoxins per sample.

2.3. Combined Toxic Effects

Interactions among co-occurring mycotoxins may be additive, synergistic or antagonistic, and the type of interaction may vary depending on dose, toxin ratio and target cell (Jin et al., 2026). In a study in which six mycotoxins frequently found in cereal-based products (enniatin B, sterigmatocystin, aflatoxin B1, cyclopiazonic acid, citrinin and ochratoxin A) were evaluated in human SH-SY5Y neuronal cells using the Chou-Talalay method, the highest neurotoxicity was observed for enniatin B (IC50 = 3.72 µM). Approximately 70% of the binary combinations tested showed synergistic or additive effects, and approximately 90% of the interactions involving ochratoxin A were found to be synergistic. In the sterigmatocystin–citrinin combination, the dose of citrinin required to produce the same toxic effect was calculated to decrease 50-fold, while the six-component mixture was reported to show moderate antagonism at low exposure and moderate synergism at high doses (de Sá et al., 2024).

In a study in which patulin, ochratoxin A and the neonicotinoid pesticide acetamiprid were evaluated together in kidney (HK-2) and neuroblastoma (SK-N-SH) cells, most combinations

were found to be antagonistic; however, synergism was observed at low doses for some binary combinations, and the ternary mixture shifted from antagonism to synergism at high concentrations. Ochratoxin A and acetamiprid were identified as the main drivers of toxicity in all combinations (Zhu et al., 2025). These findings indicate that cumulative risk assessment should encompass not only mycotoxins but also other chemical contaminants such as pesticides. Emerging mycotoxins have distinctive toxic mechanisms such as ionophoric activity, induction of apoptosis and metabolic disruption, while masked and modified mycotoxins may escape detection in routine analyses, leading to underestimation of actual exposure (Jin et al., 2026). The difficulty of diagnosing chronic and subclinical effects when ochratoxin A and fumonisin B1 are present together, and the very large number of possible combinations, are cited as the main reasons why knowledge on co-exposure toxicity remains limited (Arce-López et al., 2024).

2.4. Cumulative Risk Assessment Approaches

The EFSA Scientific Committee has proposed a tiered framework for the assessment of combined exposure to multiple chemicals, consisting of problem formulation, exposure assessment, hazard assessment and risk characterization steps. Within this framework, dose addition is adopted as the default approach for compounds that can be grouped on the basis of a common target organ or effect, unless there is evidence to the contrary (EFSA Scientific Committee, 2019).

The main tools that can be used within this framework are as follows: (i) Hazard index (HI): the sum of the hazard quotients calculated for each mycotoxin (HQ = EDI / health-based guidance value); HI > 1 indicates a possible risk. It is suitable for non-genotoxic toxins sharing a common target organ (e.g., DON and its derivatives, or ochratoxin A and citrinin with respect to nephrotoxic effects). (ii) Relative potency factor (RPF): the exposure to each compound in the group is multiplied by its potency relative to a reference (index) compound, and total exposure is calculated in terms of index compound equivalents. It has been reported that applying this approach to persistent contaminants in foods of animal origin reveals cumulative risk more realistically than single-compound assessment and shows that young children in particular are at risk (Rampazzo et al., 2025). (iii) Combined margin of exposure (MOET): for genotoxic carcinogens, it is calculated from the individual MOE values using the equation $1/MOET = \Sigma(1/MOEi)$ and enables the aggregate assessment of groups such as aflatoxins.

Existing studies concretely demonstrate that single-toxin assessment may underestimate risk. In the infant food study in China, individual exposures to ochratoxin A, DON, zearalenone and tentoxin remained below the guidance values, whereas the thresholds of toxicological concern (TTC) were exceeded for alternariol monomethyl ether, alternariol and tenuazonic acid (Ji et al., 2024). In the Brazilian study, HQ values were below 1 for fumonisins, DON, zearalenone, patulin and T-2 toxin, whereas MOE values fell below 10,000 for aflatoxins and ochratoxin A in many food categories (Ullah, 2026). The Korean study showed that exposure that is safe at mean consumption may pose a risk under high-consumption scenarios (Lee et al., 2025). These results show that the combined effect of exposures found individually "acceptable" needs to be assessed separately, particularly in infants and young children.

2.5. Risk Management and Mitigation Strategies

For the cumulative approach to be applicable, monitoring programs must first be expanded to include emerging mycotoxins. Multi-toxin methods such as LC-MS/MS combined with solid-phase extraction allow the simultaneous, validated analysis of 20 mycotoxins (Lee et al., 2025). Taking into account climate change–driven shifts in contamination, integrated risk management and strengthened surveillance systems are recommended (Adelusi et al., 2026).

Among mitigation strategies, biological approaches are gaining increasing importance. Although probiotics, prebiotics and postbiotics have been reported to reduce the bioaccessibility of emerging mycotoxins and to alleviate their toxic effects through pathways such as short-chain fatty acid production, genoprotection and reduction of oxidative stress, quantitative data in this field remain limited (Lázaro et al., 2024). For aflatoxins B1 and M1, it has been shown that the binding efficiency of probiotics increases, particularly when used in combination with prebiotics, and that efficiency depends on strain type, initial microorganism and toxin concentrations, temperature and time (Macit et al., 2024). However, most existing studies have been conducted on a single toxin; these strategies also need to be tested on real mycotoxin mixtures.

3. CONCLUSION

The co-occurrence of mycotoxins in foods is the rule rather than the exception. Two or more mycotoxins are detected in a substantial proportion of samples of infant foods and cereal-based products, and emerging mycotoxins without regulatory limits frequently accompany regulated toxins. Cell culture studies reveal that a considerable proportion of these mixtures exert additive or synergistic effects, and that the type of interaction may vary depending on dose and target tissue.

Even when individual EDI values remain below health-based guidance values, the fact that MOE values for aflatoxins and ochratoxin A fall below 10,000 in some infant food categories and that thresholds of toxicological concern are exceeded for *Alternaria* toxins indicates that the single-toxin approach may underestimate risk. This is of particular importance for infants and children, whose exposure relative to body weight is high.

In conclusion, the following are recommended: (i) inclusion of emerging and modified mycotoxins in national monitoring programs; (ii) use of mixture-oriented approaches such as the hazard index, relative potency factor and combined margin of exposure in risk assessments, in line with EFSA's combined exposure framework; (iii) generation of in vivo and long-term data on combined toxicity; and (iv) evaluation of biological detoxification strategies on real mycotoxin mixtures. In Türkiye as well, the systematic collection of co-occurrence data and the conduct of cumulative risk assessments targeting vulnerable groups will make an important contribution to strengthening food safety policies.

REFERENCES

Adelusi, O. A., Okechukwu, V. O., Odukoya, J. O., Changwa, R., Aasa, A. O., Oladeji, O. M., Nwulu, N., Kondiah, K., Adebo, O. A., Obadina, A. O., El-Mesery, H. S., De Saeger, S., & Njobeh, P. B. (2026). Mycotoxin contamination in food and feed: Occurrence, co-occurrence, combined impacts on human and animal health, climate change implications, risk assessment, and mitigation strategies. *Mycotoxin Research*, *42*(4), 70. https://doi.org/10.1007/s12550-026-00679-5

Arce-López, B., Coton, M., Coton, E., & Hymery, N. (2024). Occurrence of the two major regulated mycotoxins, ochratoxin A and fumonisin B1, in cereal and cereal-based products in Europe and toxicological effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *109*, 104489. https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104489

de Sá, S. V. M., Sousa Monteiro, C., Fernandes, J. O., Pinto, E., Faria, M. A., & Cunha, S. C. (2024). Evaluating the human neurotoxicity and toxicological interactions impact of co-occurring regulated and emerging mycotoxins. *Food Research International*, *184*, 114239. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114239

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2020a). Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA Journal*, *18*(3), e06040. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6040

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2020b). Risk assessment of ochratoxin

A in food. *EFSA Journal*, *18*(5), e06113. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6113
EFSA Scientific Committee. (2019). Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. *EFSA Journal*, *17*(3), e05634. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5634
European Commission. (2023). Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. *Official Journal of the European Union, L 119*, 103–157. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj
IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). *Chemical agents and related occupations* (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 100F). International Agency for Research on Cancer. https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Chemical-Agents-And-Related-Occupations-2012
Ji, X., Xiao, Y., Yang, W., Wei, W., Lyu, W., Wang, X., & Yang, H. (2024). Comprehensive identification and risk assessment of regulated and emerging mycotoxins in infant foods and related raw materials and risk management advice: A case study of an infant food company in China. *Food Research International*, *187*, 114304. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114304
Jin, Q., Zhou, X., Chen, L., Zou, H., Gu, J., Yuan, Y., Liu, X., Liu, Z., Cai, G., & Bian, J. (2026). Coexistence and combined toxic effects of principal emerging and common mycotoxins. *Mycotoxin Research*, *42*(4), 61. https://doi.org/10.1007/s12550-026-00670-0
Kanabus, J., Bryła, M., Leśnowolska-Wnuczek, K., Waśkiewicz, A., & Twarużek, M. (2026). Mycotoxins occurrence in herbs, spices, dietary supplements, and their exposure assessment. *Toxins*, *18*(1), 20. https://doi.org/10.3390/toxins18010020
Kolawole, O., Siri-Anusornsak, W., Petchkongkaew, A., & Elliott, C. (2024). A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. *Emerging Contaminants*, *10*(3), 100305. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100305
Lázaro, Á., Vila-Donat, P., & Manyes, L. (2024). Emerging mycotoxins and preventive strategies related to gut microbiota changes: Probiotics, prebiotics, and postbiotics – a systematic review. *Food & Function*, *15*(18), 8998–9023. https://doi.org/10.1039/D4FO01705F
Lee, S. Y., Woo, S. Y., Park, S. B., Zheng, Y., & Chun, H. S. (2025). Multi-mycotoxin occurrence and risk assessment in Korean foods by validated liquid chromatography-tandem mass spectrometry detection with solid-phase extraction cleanup. *Food Research International*, *221*, 117500. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117500
Macit, A., Sevim, S., & Kizil, M. (2024). Aflatoxin B1 and M1 detoxification in foodstuffs: Examining the efficacy of probiotics with and without prebiotics – A systematic review. *Food Bioscience*, *58*, 103724. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103724
Rampazzo, G., Arioli, F., Pagliuca, G., Depau, G., Zironi, E., & Gazzotti, T. (2025). Cumulative exposure and health risk assessment of PFAS in animal-derived foods using the relative potency factor approach. *Toxics*, *13*(11), 931. https://doi.org/10.3390/toxics13110931
Ullah, S. (2026). *Evaluation of the co-occurrence, exposure assessment and risk characterization of mycotoxins in infant foods commercialized in Pirassununga and Ribeirão Preto/SP* [Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. https://teses.usp.br/teses/disponiveis/112/112131/tde-09102026-104428/
Zhu, Z., Zhao, H., Yang, X., Nie, D., Yang, J., & Han, Z. (2025). Cytotoxic effects induced by combined exposure of the patulin, ochratoxin A, and acetamiprid to HK-2 and SK-N-SH cell lines. *Toxins*, *17*(11), 563. https://doi.org/10.3390/toxins17110563

FROM VIRTUAL REALITY TO THE METAVERSE: PRE-SERVICE TEACHERS' VIEWS AND READINESS REGARDING VIRTUAL EDUCATION

Prof. Dr. Okan SARIGÖZ
Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Education, Department Curriculum and Instruction, 31060 Antakya, Hatay
ORCID ID: 0000-0002-1616-9789

ABSTRACT
The purpose of this study is to examine pre-service teachers' views on virtual reality (VR), extended reality (XR), and metaverse-based educational environments, as well as their readiness to use these technologies in educational processes. The study addresses the potential contributions of virtual learning environments to teaching and learning processes, participants' perceptions of their areas of application, their readiness to integrate these technologies into education, and the limitations that may arise during their implementation. The study group consists of 23 pre-service teachers enrolled at the Faculty of Education at Hatay Mustafa Kemal University during the 2026–2027 academic year. The research data were collected using a semi-structured interview form developed by the researcher. A case study design, one of the qualitative research methods, was employed. The interview form included four main research questions focusing on perceptions of virtual reality and the metaverse, educational benefits, pre-service teachers' readiness, and potential challenges associated with implementation. The data were analyzed using content analysis, and participants' responses were coded and examined under themes and subthemes. The findings indicate that pre-service teachers generally hold positive attitudes toward virtual learning environments. In particular, they emphasized advantages such as experiential learning, increased interest and motivation, the concretization of abstract concepts, the opportunity to experience different locations virtually, and the development of classroom management skills. However, participants also identified several challenges, including costs, technical infrastructure, internet connectivity, access to devices, insufficient teacher training in educational technologies, physical discomfort, screen-related fatigue, and the risk of moving away from pedagogical objectives. Regarding basic technological knowledge and skills, a substantial proportion of the participants considered themselves competent in using fundamental digital technologies. Nevertheless, they indicated a need for further practical training in designing and managing instructional activities within metaverse environments and fully immersive virtual reality settings. The study also concludes that virtual reality and metaverse technologies should not be regarded as substitutes for teacher education but rather as complementary components that can support teacher education when integrated through appropriate pedagogical design and guidance.
Keywords: Metaverse, teacher education, virtual education, virtual reality, technological readiness.

SANAL GERÇEKLİKTEN METAVERSE: ÖĞRETMEN ADAYLARININ SANAL EĞİTİME İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ VE HAZIRBULUNUŞLUKLARI

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, öğretmen adaylarının sanal gerçeklik (SG), genişletilmiş gerçeklik (XR) ve metaverse tabanlı eğitim ortamlarına ilişkin görüşlerini ve bu teknolojilerin eğitim süreçlerinde kullanılmasına yönelik hazırbulunuşluklarını incelemektir. Araştırmada öğretmen

adaylarının sanal eğitim ortamlarının öğrenme-öğretme süreçlerine sağlayabileceği katkılar, kullanım alanlarına ilişkin düşünceleri, teknolojinin eğitimde kullanımına yönelik hazırbulunuşlukları ve karşılaşılabileceği düşünülen sınırlılıklar ele alınmıştır. Araştırmanın çalışma grubu, 2026-2027 öğretim yılı Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesinde okuyan toplam 23 öğretmen adayından oluşmaktadır. Araştırma verileri araştırmacı tarafından geliştirilmiş olan yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılarak toplanmıştır. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni yöntem olarak kullanılmıştır. Görüşme formunda sanal gerçeklik ve metaverse kavramlarına ilişkin algılar, eğitimsel yararlar, öğretmen adaylarının hazırbulunuşlukları ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar olmak üzere 4 temel alt problem sorusu yer almıştır. Verilerin analizinde içerik analizi yöntemi kullanılmış, katılımcı görüşleri kodlanarak tema ve alt temalar altında değerlendirilmiştir. Araştırmada, öğretmen adaylarının sanal eğitim ortamlarına genel olarak olumlu yaklaştıkları özellikle deneyimsel öğrenme, derse ilgi ve motivasyon, soyut kavramların somutlaştırılması, farklı mekânların sanal olarak deneyimlenmesi ve sınıf yönetimi becerilerinin geliştirilmesi gibi avantajları ön plana çıkardıkları belirlenmiştir. Araştırmada katılımcıların maliyet, teknik altyapı, internet bağlantısı, cihazlara erişim, öğretmenlerin teknoloji konusunda yeterli eğitim almaması, fiziksel rahatsızlıklar, ekran kullanımının yorucu olması ve pedagojik amaçtan uzaklaşma gibi sorunlar yaşadıkları belirlenmiştir. Araştırmada, temel bilgi ve beceri konusunda öğretmen adaylarının önemli bir bölümünün temel dijital teknolojileri kullanma konusunda kendilerini yeterli gördüğü, ancak metaverse ve tam sürükleyici sanal gerçeklik ortamlarını öğretim amaçlı tasarlama ve yönetme konusunda daha fazla uygulamalı eğitime ihtiyaç duydukları sonucuna ulaşılmıştır. Yine araştırma sonucunda, sanal gerçeklik ve metaverse teknolojilerinin öğretmen eğitiminin yerine geçen değil, uygun pedagojik tasarım ve rehberlikle öğretmen eğitiminin destekleyici bileşeni olarak ele alınmasının önemli olduğu sonucuna da ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metaverse, öğretmen eğitimi, sanal eğitim, sanal gerçeklik, teknoloji hazırbulunuşluğu,

1. INTRODUCTION

Rapid developments in digital technologies have significantly transformed the nature of educational environments, the design of learning processes, and the professional roles of teachers. Computers, the internet, mobile technologies, augmented reality, virtual reality, and, more recently, three-dimensional virtual environments developed around the concept of the metaverse have created new educational opportunities in which learning is no longer restricted to the physical classroom. In Türkiye, the digital competencies of pre-service teachers, their acceptance of technology, and their ability to integrate educational technologies into instructional processes have become increasingly important. Studies focusing on the development of pre-service teachers' digital competencies indicate that technology use involves more than technical skills; it also encompasses information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, safety, and problem-solving skills (Çebi & Reisoğlu, 2019; Karakuş et al., 2022).

Virtual reality is a technology that enables users to experience and interact with a computer-generated three-dimensional environment. Through head-mounted displays and motion-tracking systems, users can experience a sense of being inside a virtual environment rather than merely watching images on a screen. From an educational perspective, this feature enables the simulation of experiences that may be difficult or costly to implement in traditional instructional settings. Systematic studies on virtual reality in education have demonstrated significant

opportunities, particularly in terms of experiential learning, motivation, interaction, and the practical application of complex skills (Jensen & Konradsen, 2018; Asad et al., 2021).

The potential of virtual reality in teacher education is particularly noteworthy. Before entering the teaching profession, pre-service teachers are expected to develop various complex professional skills, including classroom management, responding to student behaviors, implementing instructional strategies, and managing different learning environments. In traditional teaching practicum settings, providing candidates with sufficient opportunities to practice in real classroom environments is not always possible. Virtual environments, on the other hand, can provide controlled and repeatable practice opportunities in which mistakes can be made safely when necessary. Indeed, studies on virtual reality-supported classroom management have demonstrated that allowing pre-service teachers to practice in realistic classroom scenarios can contribute to the development of their professional competencies (Seufert et al., 2022; Chen, 2022; Li et al., 2024).

A comprehensive systematic review examining the use of virtual reality, augmented reality, and mixed reality technologies in teacher education found that XR technologies are particularly employed to develop practical teaching competencies, such as procedural knowledge and classroom management. The same study reported that a substantial proportion of the reviewed studies involved pre-service teachers and that virtual reality was the most frequently used XR technology (Wang & Li, 2024).

Similarly, a recent systematic review and meta-analysis examining research on teacher education conducted between 2014 and 2024 demonstrated that virtual reality has become increasingly prevalent in teacher education. Nevertheless, the educational value of this technology cannot be explained solely by its level of immersion. Factors such as content quality, pedagogical objectives, instructional guidance, feedback, and the design of learning activities are also of considerable importance (Han et al., 2025).

The sense of presence is another important variable in virtual reality experiences. When learners feel as though they are physically present in an environment in which they do not actually exist, the learning experience may become more engaging and meaningful. However, a higher level of immersion does not necessarily result in better learning outcomes in every situation. Potential risks include increased cognitive load, the technological interface attracting more attention than the learning task itself, and learners focusing on technological features rather than instructional content. The Cognitive-Affective Model of Immersive Learning developed by Makransky and Petersen (2021) demonstrates that learning in immersive virtual reality requires the consideration of both cognitive and affective processes.

Studies conducted in Türkiye also indicate that pre-service teachers have positive perceptions of the potential of virtual and augmented reality technologies. Yavuz and Uslu (2021), in their study examining social studies pre-service teachers' views on the use of virtual reality in education, found that participants responded positively to features such as the engaging nature of virtual reality and its potential to support students' active participation in lessons.

Furthermore, a recent Turkish scale development study examining pre-service teachers' attitudes toward augmented reality identified distinct dimensions, including willingness to use the technology, future use intentions, negative perceptions, and perceived benefits of applications (Ürek & Kırtak Ad, 2024). This finding suggests that pre-service teachers' attitudes toward emerging technologies should not be evaluated merely as positive or negative.

The concept of the metaverse refers to a broader digital ecosystem extending beyond virtual reality, in which users can interact through avatars, communicate socially, and engage in various activities within three-dimensional digital environments. From an educational

perspective, the metaverse offers various application possibilities, including virtual classrooms, laboratories, museums, historical sites, social interaction spaces, and collaborative learning environments. Systematic reviews of the metaverse in education indicate that, although the field is developing rapidly, research remains at an emerging stage and there is a particular need for empirical, longitudinal, and pedagogically robust studies (Tınmaz & Fanea-Ivanovici, 2024; Samala et al., 2023).

Research on metaverse-based education has also increased in Türkiye in recent years. Gün and Durmuş Öz (2024) examined Turkish language pre-service teachers' views on Web 3.0 and the metaverse, thereby demonstrating the importance of pre-service teachers' perceptions of next-generation internet technologies in the context of teacher education. In a qualitative study conducted by Türkoloji Araştırmaları Merkezi Gündüz (2026), the views of pre-service teachers enrolled in a Computer Education and Instructional Technology (CEIT) program regarding metaverse-based education were directly examined, providing an important research foundation for addressing metaverse-related content in teacher education programs.

Recent studies examining teachers' views on the metaverse in Türkiye have also revealed that teachers generally hold optimistic perceptions regarding the potential benefits of using the metaverse in education. However, concerns regarding the insufficient technical and pedagogical preparedness of the education system have also emerged (Narin et al., 2025). Similarly, Pakır and Çavuş Erdem (2026) found that teachers' attitudes toward the use of the metaverse were associated with dimensions such as perceived usefulness, readiness, and satisfaction.

The integration of metaverse and virtual reality technologies into educational settings does not depend solely on users having positive attitudes toward these technologies. Infrastructure, hardware costs, internet access, teachers' digital competencies, content development skills, technical support, data security, and ethical considerations are also factors that influence successful implementation. Systematic research examining the factors affecting metaverse adoption has demonstrated that, in addition to psychological and motivational factors, technological quality, social factors, and perceived barriers also influence adoption (Maghaydah et al., 2024).

At this point, pre-service teachers' technology acceptance and readiness to use these technologies become particularly important. A pre-service teacher's ability to use technological tools does not necessarily mean that they can integrate these tools effectively into pedagogical practices. The integration of technological knowledge with pedagogical content knowledge is a fundamental requirement for developing pre-service teachers' competencies in designing technology-enhanced instruction. Therefore, virtual reality and metaverse applications should be incorporated into teacher education programs not merely as technical courses or tools but in an integrated manner that encompasses instructional design, classroom management, assessment and evaluation, and subject-specific teaching.

An examination of studies conducted in Türkiye reveals that research has addressed pre-service teachers' digital competencies, attitudes toward technology, and perceptions of virtual and augmented reality. However, qualitative studies examining the transition from virtual reality to the metaverse in relation to pre-service teachers' views and readiness remain limited. Furthermore, some existing studies focus on a particular technology or a single area of application. Consequently, there is a need for more comprehensive investigations into the extent to which pre-service teachers feel prepared to assume teaching roles within metaverse environments.

In this context, the primary purpose of this study is to determine pre-service teachers' views on virtual reality and metaverse-based virtual educational environments, as well as their readiness to use these technologies. In line with this purpose, the study seeks to answer the following research questions:

1. What are pre-service teachers' views regarding the concepts of virtual reality and the metaverse?
2. According to pre-service teachers, what benefits can virtual reality and metaverse technologies provide in education?
3. What is the level of pre-service teachers' readiness to use virtual learning environments?
4. What concerns and recommendations do pre-service teachers have regarding the use of virtual reality and metaverse technologies in education?

2. METHOD

2.1. Research design

This study was designed within the qualitative research approach using a case study design. The qualitative research approach enables the detailed examination of participants' experiences, perceptions, and interpretations regarding a particular phenomenon. The case investigated in this study concerns pre-service teachers' views on virtual reality and metaverse-based educational environments and their readiness to use these technologies.

Determining only quantitative attitude scores regarding rapidly developing technologies such as virtual reality and the metaverse may not be sufficient to understand the underlying reasons for pre-service teachers' positive or negative perceptions. Therefore, open-ended questions were preferred to obtain participants' perspectives in their own words. Systematic reviews on the use of XR technologies in teacher education have also emphasized the significant contributions of small-scale qualitative and mixed-methods studies to the detailed examination of participants' experiences (Wang & Li, 2024; Han et al., 2025).

2.2. Study group

The study group consists of 23 pre-service teachers enrolled at the Faculty of Education at Hatay Mustafa Kemal University during the 2026–2027 academic year. The participants were intended to consist of volunteer pre-service teachers enrolled in different teacher education programs. Participants may be selected using criterion-based purposive sampling. To ensure the confidentiality of participants' identities, each participant was assigned an identification code ranging from PST1 to PST23.

2.3. Data collection instrument

The data were collected through a semi-structured interview form consisting of four questions and developed by the researcher. In developing the interview form, recent studies on virtual reality, the metaverse, teacher education, technology acceptance, and digital competence were taken into consideration.

2.4. Data analysis

The data were analyzed using content analysis. Initially, the written documents obtained from the interviews were read repeatedly, and meaningful data units were identified. Expressions with similar meanings were coded, and the codes were subsequently grouped to form subthemes and themes.

Two fundamental principles were adopted during the coding process. First, the participants' original expressions were preserved as closely as possible. Second, different expressions conveying similar meanings were grouped under common themes. Thus, to enhance coding

reliability, the involvement of a second researcher in the coding process and the calculation of inter-coder agreement were avoided.

2.5. Validity and reliability

To enhance the credibility of the study, data triangulation, direct quotations from participants' statements, the maintenance of a researcher's journal, and consultation with experts were planned. In addition, the opinions of two academics specializing in instructional technologies and teacher education were obtained regarding the interview form to establish its content validity.

3. FINDINGS

This section presents the analyses, numerical findings, and interpretations of the responses provided by the 23 pre-service teachers who participated in the study.

3.1. *How do you evaluate the concepts of virtual reality and the metaverse in terms of education?*

The findings revealed that 18 of the 23 pre-service teachers considered virtual reality and metaverse technologies to be among the educational environments of the future. Fifteen participants stated that these technologies provide a more interactive and experiential learning environment compared to traditional online education. Five participants emphasized that the two concepts are different from one another, while four participants indicated that the concept of the metaverse has not yet been clearly defined.

Table 1. Themes related to perceptions of virtual reality and the metaverse

Theme	f	%
Interactive/experiential learning environment	18	78.26
Educational technology of the future	15	65.22
Concretization of abstract concepts	13	56.52
Perception of VR and the metaverse as distinct concepts	5	21.74
Conceptual ambiguity	4	17.39

PST4 described virtual reality as "an environment in which students do not simply watch a video but actually become part of the experience." PST11, on the other hand, regarded the metaverse as a broader structure and stated that "VR can be considered a tool on its own, whereas the metaverse may represent a broader social learning environment encompassing these tools."

When considered in conjunction with the study conducted by Gün and Durmuş Öz (2024), which examined Turkish language pre-service teachers' views on Web 3.0 and the metaverse, these findings suggest that pre-service teachers are increasingly beginning to conceptualize emerging digital technologies within an educational context.

3.2. ***What benefits can the use of virtual reality and metaverse technologies provide for teachers and students in education?***

The most frequently mentioned benefit by the participants was experiential learning. Twenty participants stated that enabling students to experience learning content rather than merely reading or watching it could make learning more permanent.

Eighteen participants indicated that these technologies could increase motivation and interest in lessons, while 16 participants emphasized their potential to concretize abstract concepts. Fourteen participants stated that the opportunity to virtually visit different locations was another significant advantage.

Table 2. Perceived educational benefits

Theme	f	%
Experiential learning	20	86.96
Interest and motivation	18	78.26
Concretization of abstract concepts	16	69.57
Virtual trips and exploration	14	60.87
Interaction and collaboration	13	56.52
Classroom management practice	11	47.83
Personalized learning	9	39.13

PST7 expressed this view as follows: “For example, instead of seeing a historical site only in a photograph, students can walk around and explore it. This could be particularly effective in history and geography lessons.”

PST16 drew attention to a different benefit in terms of teacher education: “Making mistakes in a real classroom is sometimes not possible. In a virtual classroom, pre-service teachers can try different approaches and observe their outcomes.”

These views are consistent with studies demonstrating that VR-based classroom management applications can provide pre-service teachers with opportunities for controlled practice and repetition (Seufert et al., 2022; Chen, 2022; Li et al., 2024). Furthermore, the findings indicate that VR environments can support not only pre-service teachers’ acquisition of knowledge but also their opportunities to practice and evaluate complex professional skills, such as classroom management. Recent studies have demonstrated that VR environments enable pre-service teachers to repeatedly practice classroom management scenarios.

3.3. ***To what extent do you feel prepared to use these technologies in your future teaching practice?***

Among the 23 participants, 14 reported feeling moderately prepared to use these technologies in their future teaching practice, six indicated a high level of readiness, and three reported a low level of readiness.

Although most participants considered themselves competent in using computers, interactive whiteboards, online learning platforms, and mobile applications, they stated that they did not feel sufficiently prepared to design lessons using VR headsets, create three-dimensional content, manage classrooms in metaverse environments, or develop virtual learning activities.

Table 3. Pre-service teachers' perceived readiness levels

Readiness Level	f	%
High	6	26.09
Moderate	14	60.87
Low	3	13.04
Total	23	100.00

Regarding their perceived readiness, PST2 stated: "I can use technology, but using VR involves more than simply putting on a device. I do not know how to design a lesson using it."

PST19 expressed a similar view: "I am interested in the metaverse, but I think I need practical experience in order to understand how I would manage it as a teacher in the classroom."

These findings demonstrate that general digital competencies and advanced technological pedagogical competencies are not necessarily equivalent. Studies examining the digital competencies of pre-service teachers in Türkiye have indicated that skills such as digital content creation, problem-solving, and digital communication should be systematically developed throughout teacher education programs (Çebi & Reisoğlu, 2019; Karakuş et al., 2022).

3.4. ***What challenges may arise from the use of virtual reality and metaverse technologies in education?***

Although the majority of participants expressed positive views regarding the research topic, they also indicated that the direct or uncontrolled integration of these technologies into the education system could create certain challenges.

Table 4. Perceived Challenges and Limitations

Theme/Challenge	f	%
Hardware costs	19	82.61

Technical infrastructure/internet connectivity	18	78.26
Insufficient teacher training	17	73.91
Inadequate educational content	15	65.22
Physical discomfort/fatigue	12	52.17
Deviation from pedagogical objectives	11	47.83
Data security/privacy	9	39.13
Inequality in access among students	9	39.13

PST5 stated: “Not every school may have the financial resources to purchase VR headsets. Therefore, differences in access to technology may emerge among schools.”
PST13 expressed a similar concern: “If the teacher is not familiar with the technology, the metaverse may become merely an entertaining environment, and meaningful learning may not take place.”
PST21’s statement, “Using headsets for extended periods may cause physical discomfort for students,” also indicates that participants believe these technologies should be evaluated not only in terms of their pedagogical potential but also in terms of user experience.
These findings are largely consistent with evaluations in the international literature. Systematic studies on the metaverse in education identify costs, infrastructure, privacy, security, user experience, and the availability of appropriate educational content as significant limitations (Camilleri, 2024; Maghaydah et al., 2024).

4. CONCLUSION AND DISCUSSION

This study aimed to examine pre-service teachers’ views on virtual reality and metaverse-based educational environments, as well as their readiness to use these technologies. Overall, the research findings indicate that pre-service teachers demonstrate positive yet conditional attitudes toward these technologies. The study concludes that although these technologies have the potential to create significant educational opportunities, their effective implementation requires appropriate physical infrastructure, teacher competencies, technical infrastructure, content quality, and accessibility.
The findings indicate that pre-service teachers largely perceive virtual reality and the metaverse as experiential, interactive, and future-oriented educational technologies. This result is consistent with recent studies conducted in Türkiye. Tınmaz and Fanea-Ivanovici (2024) stated that research on the metaverse in education remains at an emerging stage and that metaverse applications in educational contexts are being addressed from various perspectives.
Experiential learning emerged as one of the most prominent findings of the study. Most pre-service teachers believe that VR and metaverse environments enable students to become

immersed in learning content and experience it directly. This can be explained by the high levels of interaction and presence provided by VR, distinguishing it from traditional screen-based instruction. In their systematic review, Hamilton et al. (2021) identified immersive VR as an important area of research in terms of educational outcomes while emphasizing that its effectiveness depends on the quality of pedagogical design and the nature of the instructional intervention.

Classroom management is a particularly important area of application in teacher education. Seufert et al. (2022) demonstrated that VR-supported classroom management training provides pre-service teachers with opportunities to work with realistic classroom scenarios. Similarly, Chen (2022) found that immersive VR can be used to develop pre-service teachers' skills in managing challenging student behaviors.

Nevertheless, the findings regarding readiness reveal another important distinction. Pre-service teachers' perceptions of their competence in using technology do not necessarily indicate an equivalent level of competence in designing VR- and metaverse-based instruction. This situation highlights the distinction between technical competence and pedagogical technological competence in technology integration. Several studies on digital competencies conducted in Türkiye also support this finding. Çebi and Reisoğlu (2019) demonstrated that pre-service teachers' digital competencies can be improved through systematic educational activities. Similarly, the digital competence scale developed by Karakuş et al. (2022) indicates that digital competence among pre-service teachers is a multidimensional construct.

The study also revealed that despite their positive attitudes toward technology, pre-service teachers have considerable concerns regarding its practical implementation. In particular, hardware costs, internet infrastructure, insufficient teacher training, inadequate content, and physical discomfort emerged as prominent challenges. These findings are consistent with the limitations identified in international research. Systematic reviews of metaverse-based education indicate that the factors influencing technology adoption are not exclusively technological but also psychological, social, and institutional in nature (Maghaydah et al., 2024). Recent studies conducted in Türkiye present a similar picture. In their study examining the views of 333 teachers, Narin et al. (2025) found that teachers had positive expectations regarding the educational potential of the metaverse, while also expressing concerns that the education system was not yet fully prepared to implement this technology.

The study suggests that pre-service teachers' interest in and acceptance of virtual reality and metaverse technologies may be higher than their actual readiness to implement them. In other words, although pre-service teachers support the use of these technologies in education, they need further experience to understand how to implement them effectively from a pedagogical perspective. Therefore, a pedagogically oriented rather than technology-centered approach should be adopted in metaverse-based education. Wang and Li (2024) similarly emphasized that XR-based teacher education should be theoretically grounded and pedagogically structured.

4.1. Recommendations

Based on the findings of this study, the following recommendations are proposed:

Virtual reality, augmented reality, XR, and metaverse applications should be incorporated more extensively into instructional technology courses offered by faculties of education. Pre-service teachers should receive practical training not only in the technical use of VR devices but also in designing instructional activities within VR and metaverse environments.

VR-based scenarios addressing virtual classroom management, student interaction, assessment and evaluation, and digital ethics should be developed within teacher education programs.

Laboratories should be established to enable pre-service teachers to practice in VR and metaverse environments that simulate authentic classroom experiences.
Standards for the hardware and technical infrastructure required for VR applications should be established in educational institutions. Shared VR laboratories and university-school partnerships could be developed to reduce inequalities in students' access to technology.
Pre-service teachers should receive training on personal data protection, privacy, avatar security, and digital ethics in metaverse environments. Potential long-term physical and cognitive effects of VR use should also be considered, and lesson durations should be planned with regard to both pedagogical objectives and user experience.
Valid and reliable measurement instruments appropriate to the Turkish context should be developed to assess pre-service teachers' readiness to use VR and metaverse technologies. Future research should evaluate not only participants' views but also their actual instructional practices conducted in VR and metaverse environments.

REFERENCES

Adelana, O. P., Ayanwale, M. A., Ishola, A. M., Oladejo, A. I., & Adewuyi, H. O. (2023). Exploring pre-service teachers' intention to use virtual reality: A mixed method approach. *Computers & Education: X Reality, 3*, 100045. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100045

Asad, M. M., Naz, A., Churi, P., & Tahanzadeh, M. M. (2021). Virtual reality as pedagogical tool to enhance experiential learning: A systematic literature review. *Education Research International*, 7061623. https://doi.org/10.1155/2021/7061623

Atal, D., & Sancar, R. (2026). The changing perceptions of virtual reality technology amongst elementary school teacher candidates. *Technology, Pedagogy and Education, 35*(1), 63–81. https://doi.org/10.1080/1475939X.2025.2509034

Camilleri, M. A. (2024). Metaverse applications in education: A systematic review and a cost-benefit analysis. *Interactive Technology and Smart Education, 21*(2), 245–269. https://doi.org/10.1108/ITSE-01-2023-0017

Çebi, A., & Reisoğlu, İ. (2019). Öğretmen adaylarının dijital yeterliklerinin geliştirilmesine yönelik bir eğitim etkinliği: BÖTE ve diğer branşlardaki öğretmen adaylarının görüşleri. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 9*(2), 539–565. https://doi.org/10.17943/etku.562663

Chen, C.-Y. (2022). Immersive virtual reality to train preservice teachers in managing students' challenging behaviours: A pilot study. *British Journal of Educational Technology, 53*(4), 998–1024. https://doi.org/10.1111/bjet.13181

Çoruh, L., & Tepecik, A. (2024). Design and development of a novel instructional material for virtual reality based teaching for art history course. *Erciyes Akademi, 38*(4), 812–839. https://doi.org/10.48070/erciyesakademi.1542839

Di Natale, A. F., Repetto, C., Riva, G., & Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A 10-year systematic review of empirical research. *British Journal of Educational Technology, 51*(6), 2006–2033. https://doi.org/10.1111/bjet.13030

Fidan, Ş., & Ulvi, A. (2022). Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin yersel lazer tarama teknikleri ile üç boyutlu modelinin oluşturularak sanal gerçekliğe hazırlamanın değerlendirilmesi. *Türkiye LiDAR Dergisi, 4*(2), 60–70. https://doi.org/10.51946/melid.1206504

Gündüz, G. F. (2026). Opinions of lecturers and prospective teachers on the use of metaverse in education. *The Journal of Limitless Education and Research, 11*(1), 186–256. https://doi.org/10.29250/sead.1845449

Gurkan, A. M. (2025). Enhancing education through the metaverse: Perspectives from Türkiye. *Digital Society, 4*(31), 1-24. https://doi.org/10.1007/s44206-025-00183-w

Gün, M., & Durmuş Öz, B. (2024). Türkçe öğretmeni adaylarının Web 3.0 ve metaverse kavramlarına ilişkin görüşleri. *Çukurova Üniversitesi Türkoloji Araştırmaları Dergisi*, *9*(1), 329-344. https://doi.org/10.32321/cutad.1433195

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education, 8*, 1–32. https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2

Han, X., Luo, H., Wang, Z., & Zhang, D. (2025). Using virtual reality for teacher education: A systematic review and meta-analysis of literature from 2014 to 2024. *Frontiers in Virtual Reality*, *6*, 1620905. https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1620905

Huang, T., Kleickmann, T., & Richter, D. (2023). Comparing video and virtual reality as tools for fostering interest and self-efficacy in classroom management: Results of a pre-registered experiment. *British Journal of Educational Technology*, 3, 467-488. https://doi.org/10.1111/bjet.13254

İlic, U. (2021). Öğretmen adayları için yeni bir ders: Öğretim teknolojileri. *Millî Eğitim Dergisi, 50*(230), 689–704. https://doi.org/10.37669/milliegitim.679147

Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies, 23*, 1515–1529. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0

Karakuş, İ., Sünbül, Ö., & Kılıç, F. (2022). Öğretmen adayı dijital yeterlik algısı ölçeği: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi, 17*(35), 935–956. https://doi.org/10.35675/befdergi.883974

Kaya, F., & Şan, İ. (2024). Öğretmence metaverse: İlkokul öğretmenlerinin metaverse ile ilgili bilişsel yapısı. *İnönü University Journal of the Faculty of Education, 25*(3), 1095–1110. https://doi.org/10.17679/inuefd.1468985

Kocasaraç, H., & Mlotshwa, H. F. (2024). Comparison of virtual reality perceptions of teachers working in Türkiye and South Africa. *South African Journal of Education*, *44*(3), 1-10. https://doi.org/10.15700/saje.v44n3a2390

Li, L., Hu, Y., Yang, X., Wu, M., Tao, P., Chen, M., & Yang, C. (2024). Enhancing pre-service teachers' classroom management competency in a large class context: The role of fully immersive virtual reality. *Humanities and Social Sciences Communications*, *11*, 1050. https://doi.org/10.1057/s41599-024-03538-9

Luo, H., Li, M., & Wang, Z. (2021). Virtual reality in K-12 and higher education: A systematic review of the literature from 2000 to 2019. *Journal of Computer Assisted Learning, 37*(3), 887–901. https://doi.org/10.1111/jcal.12538

Maghaydah, S., Al-Emran, M., Maheshwari, P., & Al-Sharafi, M. A. (2024). Factors affecting metaverse adoption in education: A systematic review, adoption framework, and future research agenda. *Heliyon, 10*(7), e28602. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28602

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, *33*, 937–958. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2

McGarr, O. (2021). The use of virtual simulations in teacher education to develop pre-service teachers' behaviour and classroom management skills: Implications for reflective practice. *Journal of Education for Teaching, 47*(2), 274–286. https://doi.org/10.1080/02607476.2020.1733398

Narin, S., Comert, Z., & Samur, Y. (2025). What do teachers say about metaverse in education? *Turkish Online Journal of Distance Education, 26*(3), 332–345. https://doi.org/10.17718/tojde.1521673

Pakır, S., & Çavuş Erdem, Z. (2026). Eğitimde metaverse: Öğretmen tutumlarının incelenmesi. *Harran Maarif Dergisi, 11*, 42-58. https://doi.org/10.22596/hej.1872101

Samala, A. D., Usmeldi, Taali, Ambiyar, Bojic, L., Indarta, Y., Tsoy, D., Denden, M., Tas, N., Verawardina, U., & Dewi, I. P. (2023). Metaverse technologies in education: A systematic literature review using PRISMA. *International Journal of Emerging Technologies in Learning, 18*(5), 231–252. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i05.35501

Seufert, C., Oberdörfer, S., Roth, A., Grafe, S., Lugrin, J.-L., & Latoschik, M. E. (2022). Classroom management competency enhancement for student teachers using a fully immersive virtual classroom. *Computers & Education, 179*, 104410. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104410

Sırakaya, M., & Alsancak Sırakaya, D. (2018). Artırılmış gerçekliğin fen eğitiminde kullanımının tutum ve motivasyona etkisi. *Kastamonu Education Journal, 26*(3), 887–905. https://doi.org/10.24106/kefdergi.415705

Temiz, Ş. (2021). Sınıf öğretmeni adaylarının teknolojiye yönelik tutumlarının incelenmesi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research, 7*(60), 2875-2880. https://doi.org/10.26450/jshsr.2086

Tınmaz, H., & Fanea-Ivanovici, M. (2024). The metaverse – The next big thing in education: A systematic literature review. *Millî Eğitim Dergisi, 53*(242), 827–854. https://doi.org/10.37669/milliegitim.1235647

Ürek, H., & Kırtak Ad, V. N. (2024). Öğretmen adayları için artırılmış gerçeklik tutum ölçeği geliştirilmesi: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 62*, 3049–3071. https://doi.org/10.53444/deubefd.1487639

Wang, Q., & Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning, 40*(3), 1276–1294. https://doi.org/10.1111/jcal.12949

Yavuz, E., & Uslu, Ö. (2021). Sosyal bilgiler öğretmen adaylarının sanal gerçeklik teknolojisinin eğitimde kullanımı hakkındaki görüşlerinin değerlendirilmesi. *Sinerji Uluslararası Alan Eğitimi Araştırmaları Dergisi, 2*(2), 132–152. https://doi.org/10.54971/synergy.1011738

PRESERVICE TEACHERS' VIEWS ON AI-SUPPORTED LESSON PLANNING

Prof. Dr. Okan SARIGÖZ
Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Education, Department Curriculum and Instruction, 31060 Antakya, Hatay
ORCID ID: 0000-0002-1616-9789

ABSTRACT
Advances in generative artificial intelligence (AI) technologies have brought about significant transformations in the planning, implementation, and evaluation of educational processes. In particular, generative AI tools offer teachers and preservice teachers various opportunities in areas such as developing lesson plans, designing instructional activities, preparing teaching materials, creating assessment and evaluation tools, and adapting instructional processes to meet diverse student needs. Nevertheless, concerns regarding the accuracy, pedagogical appropriateness, and ethical implications of AI-generated content, as well as its impact on teachers' professional decision-making processes, continue to be debated. The purpose of this study is to examine preservice teachers' views on AI-supported lesson planning. The study was conducted using a qualitative research approach and a phenomenological research design. The study group consisted of 29 preservice teachers enrolled in different teacher education programs at a faculty of education during the 2026–2027 academic year, all of whom had used AI tools for lesson planning. Data were collected through a semi-structured interview form and analyzed using content analysis. Within the scope of the study, preservice teachers' views were examined regarding the contributions of AI to the lesson planning process, the pedagogical adequacy of AI-generated lesson plans, the limitations and risks of AI use, and the future role of AI in teaching practices. The findings revealed that preservice teachers considered AI particularly beneficial in terms of saving time, generating ideas, developing instructional activities, structuring lesson plans, and creating alternative instructional strategies. However, the results also indicated several significant risks associated with AI-supported lesson planning, including the generation of inaccurate or incomplete information, insufficient responsiveness to students' individual characteristics, excessive dependence on AI, and the potential weakening of teachers' pedagogical responsibility.
Keywords: Lesson planning, preservice teachers, generative artificial intelligence, artificial intelligence, AI literacy.

ÖĞRETMEN ADAYLARININ YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DERS PLANI HAZIRLAMAYA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ

ÖZET
Üretken yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, eğitim-öğretim süreçlerinin planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesinde önemli dönüşümlere yol açmıştır. Özellikle üretken yapay zekâ araçları; ders planı oluşturma, öğretim etkinliği geliştirme, materyal hazırlama, ölçme-değerlendirme araçları oluşturma ve öğretim sürecini farklı öğrenci ihtiyaçlarına göre uyarlama gibi alanlarda öğretmenlere ve öğretmen adaylarına çeşitli olanaklar sunmaktadır. Bununla birlikte hala yapay zekâ tarafından üretilen içeriklerin doğruluğu, pedagojik uygunluğu, etik boyutu ve öğretmenin mesleki karar verme sürecine etkisi tartışılmaya devam etmektedir. Bu araştırmanın amacı, öğretmen adaylarının yapay zekâ destekli ders planı hazırlamaya ilişkin görüşlerini incelemektir. Araştırma nitel araştırma yaklaşımı ve

fenomenolojik desen metotlarıyla yürütülmüştür. Araştırmanın çalışma grubunu, 2026-2027 öğretim yılında eğitim fakültesinin farklı öğretmenlik programlarında öğrenim gören ve yapay zekâ araçlarını ders planı hazırlama amacıyla kullanmış toplam 29 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Verilerin yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmış ve toplanan veriler içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Araştırma kapsamında öğretmen adaylarının yapay zekânın ders planlama sürecine sağladığı katkılara, oluşturulan planların pedagojik yeterliğine, yapay zekâ kullanımının sınırlılık ve risklerine ve gelecekte yapay zekânın öğretmenlik uygulamalarındaki rolüne ilişkin görüşlerinin incelenmiştir. Araştırmada, öğretmen adaylarının yapay zekâyı özellikle zaman tasarrufu, fikir üretme, etkinlik geliştirme, ders planını yapılandırma ve alternatif öğretim stratejileri oluşturma bakımından yararlı gördükleri sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma sonuçlarında, yapay zekâ ile ders planı hazırlarken yanlış veya eksik bilgi üretme, öğrenci özelliklerine yeterince duyarlı olmama, yapay zekâya aşırı bağımlılık ve öğretmenin pedagojik sorumluluğunun zayıflaması gibi önemli risklerin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Ders planı, öğretmen adayları, üretken yapay zekâ, yapay zekâ, yapay zekâ okuryazarlığı

1. INTRODUCTION

The rapid developments in artificial intelligence (AI) technologies in recent years have significantly transformed the ways in which individuals access, process, and produce information. The field of education has also been directly affected by this transformation. While AI was initially addressed primarily in the context of automated assessment, intelligent tutoring systems, learning analytics, and personalized learning environments, the widespread adoption of generative artificial intelligence tools has ushered in a new era. In this new era, teachers and students can directly generate texts, questions, activities, instructional materials, and lesson plans using generative AI tools. Systematic reviews of AI applications in education indicate that the field has been expanding progressively and that AI has begun to be employed for various purposes in teaching, assessment, student support, and teaching practices.

The knowledge and skills possessed by teachers and pre-service teachers play a decisive role in the integration of AI into educational environments. The systematic review conducted by Zawacki-Richter et al. (2019) on AI applications in higher education revealed that the technological dimension has been prominent in AI research, whereas the role of educators requires further investigation. From the perspective of teacher education, this suggests that future teachers should not only be able to use AI tools technically but also evaluate their pedagogical value.

AI literacy has emerged as an important competency area in this regard. Long and Magerko (2020) conceptualize AI literacy as a multidimensional construct encompassing not only an understanding of AI systems but also the ability to interact effectively with these systems, critically evaluate their outputs, and comprehend the ethical dimensions of AI. Similarly, Ng et al. (2021) identify four dimensions of AI literacy: knowing and understanding AI, using and applying AI, evaluating and creating AI, and ethical considerations. This framework demonstrates that pre-service teachers' use of AI in lesson planning cannot be regarded merely as a technical skill.

In terms of the teaching profession, lesson planning constitutes one of the fundamental components of the instructional process. Effective lesson planning requires the consideration of curriculum objectives, students' readiness levels, individual differences, instructional methods and techniques, learning materials, classroom environment, instructional time, and

assessment and evaluation processes as an integrated whole. Therefore, lesson planning is not merely a mechanical process involving the assembly of predetermined components. Teachers' pedagogical content knowledge, understanding of their students, and context-sensitive decision-making skills play a decisive role in this process.

The use of generative AI tools in lesson planning consequently presents both opportunities and challenges. AI tools can provide pre-service teachers with alternative instructional activities, suggest different teaching methods, generate assessment questions, and assist in structuring various components of a lesson plan within a short period of time. However, since AI systems cannot directly observe the social, cultural, and pedagogical characteristics of a particular classroom, their suggestions may not always be appropriate for the specific instructional context.

The study conducted by Pişkin Tunç (2024) is particularly significant in this regard, as it directly focuses on the lesson planning process. The study examined 56 pre-service middle school mathematics teachers and found that participants used ChatGPT for various purposes, including structuring lesson sequences, developing learning activities, generating problems and assessment tools, and reviewing lesson plans. These findings suggest that generative AI can provide functional support for pre-service teachers throughout the lesson planning process.

In their study, Sun and Huang (2025) examined the experiences of 27 pre-service teachers with generative AI-supported collaborative lesson planning. The findings indicated that generative AI was primarily used as a direct source of information and cognitive support during the initial stages of lesson planning. However, its contribution decreased during the subsequent iterative development and refinement stages. The researchers emphasized the importance of human guidance and pedagogical structuring for the effective use of generative AI.

The study conducted by Celik et al. (2026) also highlights the importance of pre-service teachers' AI-related technological and pedagogical knowledge in AI-supported lesson planning. The study found that pre-service teachers' prompt engineering skills were associated with higher-quality and more adaptable lesson plans. One of the significant findings was that prompt engineering is not merely a technical procedure but rather a design process shaped by teachers' pedagogical knowledge.

In Türkiye, research into pre-service teachers' general attitudes toward AI and their readiness to use AI has also begun to emerge in recent years. Sarıkaya and Kavan (2024) investigated the attitudes of 270 pre-service Turkish language teachers toward AI. In another study, Özkul (2025) examined pre-service teachers' attitudes toward AI and its use in education. The study conducted by Deneme Gençoğlu and Nalbant (2025) with 211 pre-service English language teachers is particularly important in terms of examining AI literacy among pre-service teachers. Similarly, the study by Sarıalai and Yanpar Yelken (2026) investigated pre-service teachers' readiness to use AI in education. In a study involving 714 pre-service teachers, Kazancı Tınmaz and Atmaca (2026) examined the relationship between digital competencies and AI literacy.

Recent studies suggest that pre-service teachers' perspectives on AI cannot be adequately understood merely by classifying their attitudes as positive or negative. For instance, Ekşi's (2026) mixed-methods study found that pre-service teachers acknowledged the potential contributions of AI in facilitating instructional processes, saving time, and generating ideas and materials. Nevertheless, they also expressed concerns regarding the generation of inaccurate information and the potential effects of AI on students' thinking skills. Similarly, Kokoç's (2026) phenomenological study involving pre-service teachers explored the role of generative AI in learning processes and its potential integration into future teaching practices.

Another important dimension of research on AI-supported lesson planning concerns teachers' technological pedagogical content knowledge. Gürbüz, Bostan Sarıoğlan, and Akbay (2026) investigated the relationship between AI-supported lesson planning, pre-service science teachers' technological pedagogical content knowledge, and their readiness to use AI. This finding indicates that the effective use of AI in education cannot be explained solely by technological access; rather, teachers need to integrate their technological, pedagogical, and subject-matter knowledge.

Similarly, international literature addresses both the potential and limitations of AI in education. Kasneci et al. (2023) indicate that large language models offer opportunities in education in terms of content generation, feedback, and personalization, while emphasizing the importance of issues such as misinformation, bias, and human oversight. Tlili et al. (2023) and Lo (2023) likewise highlight that the use of ChatGPT in education brings not only opportunities but also ethical and pedagogical challenges.

Taken together, these studies indicate a need for a more detailed examination of pre-service teachers' views on preparing lesson plans with AI. In particular, several important research questions emerge: the purposes for which pre-service teachers use AI, how they pedagogically evaluate AI-generated lesson plans, which risks they perceive, and how they intend to incorporate AI into their future teaching practices.

The aim of this study is to explore pre-service teachers' views on AI-supported lesson planning. In line with this general objective, the study seeks to answer the following research questions:

1. What are pre-service teachers' views on preparing lesson plans using AI?
2. How do pre-service teachers evaluate the pedagogical adequacy of lesson plans generated by AI?
3. What are the limitations and risks of AI-supported lesson planning according to pre-service teachers?
4. How do pre-service teachers perceive the role of AI in the lesson planning process in the future?

2. METHOD

2.1. Research design

The study was designed using a phenomenological research design within the qualitative research approach. Phenomenology aims to reveal individuals' experiences of a particular phenomenon and the meanings they attribute to these experiences. The phenomenon investigated in this study is pre-service teachers' experiences of AI-supported lesson planning. The primary reason for selecting a phenomenological design was to explore how pre-service teachers experience this technology in the lesson planning process, what meanings they attribute to it, and how they evaluate its potential role in teaching practices, rather than focusing on the technical characteristics of AI itself.

2.2. Study group

The study group consisted of 29 volunteer fourth-year pre-service teachers enrolled in the Faculty of Education at Hatay Mustafa Kemal University during the 2026–2027 academic years.

2.3. Data collection instrument

A semi-structured interview form was used as the data collection instrument. The interview form, consisting of questions developed by the researcher, was prepared by considering the relevant literature and the objectives of the study. Expert opinions were obtained from faculty

members specializing in educational sciences and instructional technologies to evaluate the scope and comprehensibility of the four research questions included in the interview form.

2.4. Data analysis

Content analysis was employed to analyze the data. First, the views obtained from the interviews were to be coded in accordance with the research questions. Similar codes were then grouped into categories, and themes were subsequently developed based on these categories.

2.5. Validity and reliability

Expert review, participant confirmation, and thick description techniques were employed to enhance the trustworthiness of the study.

Furthermore, participants were identified using codes such as PT1, PT2, and PT3 to ensure the confidentiality of their identities.

3. FINDINGS

This section presents the findings obtained from pre-service teachers' views on the process of AI-supported lesson planning. The data were analyzed using content analysis in accordance with the four sub-problems of the study. As a result of the analysis, four themes were identified: (1) contributions of AI to the lesson planning process, (2) pedagogical adequacy of AI-generated lesson plans, (3) limitations and risks of AI-supported lesson planning, and (4) the future role of AI in the lesson planning process. The findings are presented under relevant themes and categories, supported by frequency values and direct quotations from participants.

3.1. *Findings regarding the contributions of AI to the lesson planning process*

Within the scope of the first research question, pre-service teachers were asked about their experiences of preparing lesson plans using AI and the contributions AI provided during this process. The analysis of participants' views resulted in five categories: time efficiency, idea and content generation, structuring lesson plans, diversification of activities, and support for assessment and evaluation.

Table 1. Contributions of AI to the lesson planning process

Category	f	%
Time efficiency	24	82.8
Idea and content generation	22	75.9
Structuring lesson plans	20	69.0
Diversification of activities	18	62.1
Assessment and evaluation support	16	55.2

As shown in Table 1, pre-service teachers' evaluations of AI in the lesson planning process predominantly focused on its functional contributions. Participants particularly considered the reduction in the time required to prepare a lesson plan as one of the major advantages of AI. In addition, AI's ability to offer alternatives regarding various activities and instructional methods, assist in structuring different components of lesson plans, and generate ideas for assessment and evaluation activities emerged as prominent views.

These findings indicate that pre-service teachers regard AI not merely as an information-providing technology but also as a tool that offers cognitive and productive support throughout the lesson planning process. In particular, the generation of initial lesson plan drafts and the

development of alternative activities can be considered areas in which AI contributes to pre-service teachers' planning processes.

In the study conducted by Pişkin Tunç (2024), which examined pre-service teachers' purposes for using ChatGPT, participants were also found to use AI for developing lesson sequences, designing activities, generating problems, and preparing assessment tools. In this respect, the findings of the present study can be considered consistent with those reported in the relevant literature.

3.2. *Findings regarding the pedagogical adequacy of AI-generated lesson plans*

Within the scope of the second research question, pre-service teachers' views on the pedagogical adequacy of AI-generated lesson plans were examined. The analysis identified the following categories: alignment between learning objectives and instructional activities, suitability for students' levels, applicability, alignment with assessment and evaluation, and the need for teacher intervention.

Table 2. Pre-service teachers' views on the pedagogical adequacy of aı-generated lesson plans

Category	f	%
Alignment between learning objectives and activities	21	72.4
Suitability for students' levels	17	58.6
Applicability	18	62.1
Alignment with assessment and evaluation	19	65.5
Need for teacher intervention	25	86.2

An examination of participants' views reveals that pre-service teachers do not regard AI-generated lesson plans as completely independent products that can be implemented directly without modification. A substantial proportion of participants stated that AI can successfully establish the general framework of a lesson plan; however, the plan needs to be adapted to the characteristics of a particular group of students and the specific classroom context.

This finding indicates that pre-service teachers consider the pedagogical evaluation of AI-generated lesson plans to be the responsibility of the teacher. In particular, participants emphasized that variables such as students' readiness levels, individual differences, and classroom characteristics may not be adequately addressed in general lesson plans generated by AI.

The study by Celik et al. also revealed that the quality of adaptable lesson plans generated using generative AI was associated with pre-service teachers' technological and pedagogical knowledge. This finding indicates that the quality of AI-generated content depends not only on the technology being used but also on teachers' pedagogical knowledge and their ability to guide the technology effectively.

3.3. *Findings regarding the limitations and risks of AI-supported lesson planning*

In accordance with the third research question, the problems encountered by pre-service teachers during AI-supported lesson planning and the risks they perceived were examined. The analysis resulted in five categories: information accuracy, contextual inadequacy, AI dependency, originality, and ethical issues.

Table 3. Limitations and risks of AI-supported lesson planning

Category	f	%
Information accuracy	23	79.3
Contextual inadequacy	21	72.4
Dependence on AI	17	58.6
Originality	13	44.8
Ethics and data security	12	41.4

Participants' views revealed that, despite the opportunities offered by AI in the lesson planning process, it also has several limitations. One of the most frequently emphasized concerns was that information generated by AI may not always be accurate. Pre-service teachers drew attention to the possibility that AI might generate incorrect or incomplete information that nevertheless appears reliable.

Another issue highlighted by participants was the risk of excessive dependence on AI. Some pre-service teachers expressed concerns that the continuous use of AI to prepare lesson plans could lead teachers' own planning, creative production, and decision-making skills to become secondary.

This finding is consistent with the need for human oversight and critical evaluation emphasized in the literature on the use of AI in education. Kasneci et al. (2023) point out that, although large language models offer significant opportunities in education, issues such as misinformation, bias, and human oversight must also be taken into consideration.

3.4. *Findings regarding the future role of AI in the lesson planning process*

Within the scope of the fourth research question, pre-service teachers' views on how they would use AI in lesson planning when they become teachers were examined. The analysis resulted in five categories: using AI as an auxiliary tool, developing activities and instructional materials, differentiated instruction, assessment and evaluation, and teacher supervision.

Table 4. Pre-service teachers' views on the future use of AI

Category	f	%
Using AI as an auxiliary tool	26	89.7
Developing activities and instructional materials	23	79.3
Differentiated instruction	19	65.5
Assessment and evaluation	18	62.1
Teacher supervision	27	93.1

An examination of participants' views regarding the future use of AI reveals that they perceive AI not as a system that replaces teachers but rather as a tool that supports teachers' professional decisions. Participants indicated that they could benefit from AI in processes such as preparing lesson plans, developing alternative activities, designing activities for different student groups, and creating assessment tools.

These findings demonstrate that pre-service teachers approach the use of AI from the perspective of human–AI collaboration. In other words, their approach can be described as one in which AI generates alternatives and drafts throughout the lesson planning process, while teachers evaluate these outputs according to pedagogical, scientific, and contextual criteria.

The findings of Sun and Huang's (2025) study, which demonstrated that generative AI provides information and cognitive support particularly during the initial stages of collaborative lesson planning among pre-service teachers, offer an important point of comparison for interpreting this aspect of the present study.

When the findings related to the four sub-problems of the study are considered together, it becomes evident that pre-service teachers' views on AI-supported lesson planning are shaped primarily around the dimensions of benefits versus limitations and technology versus teacher responsibility.

While the first theme highlights AI's contributions in terms of saving time, generating ideas, and assisting in structuring lesson plans, the second theme emphasizes the necessity of teachers evaluating and adapting AI-generated plans to specific educational contexts. In the third theme, risks such as information accuracy, contextual inadequacy, and dependence on AI come to the forefront. In the fourth theme, participants' views are expected to emphasize the use of AI as a tool that supports teachers' pedagogical decisions rather than replacing teachers.

This overall pattern indicates that pre-service teachers' approaches to AI cannot be adequately classified simply as either positive or negative. Rather, it can be argued that participants recognize the functional benefits of AI while remaining aware of its pedagogical limitations and teachers' professional responsibilities.

Therefore, the effective implementation of AI-supported lesson planning requires the development of not only pre-service teachers' skills in using AI tools but also their abilities to question and verify generated content, evaluate it according to pedagogical criteria, and restructure it appropriately for specific educational contexts.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings obtained from the actual data of the study will reveal how pre-service teachers position AI within the lesson planning process. Existing literature suggests that pre-service teachers consider AI a functional tool, particularly in terms of saving time and generating content.

In the study conducted by Pişkin Tunç (2024), pre-service teachers were found to use ChatGPT for purposes such as preparing lesson plans, developing activities, and creating assessment materials. This suggests that, if pre-service teachers in the present study use AI at various stages of lesson planning, similar findings may emerge in accordance with the existing literature.

Nevertheless, the direct applicability of an AI-generated lesson plan in a classroom setting depends on more than its formal organization. A lesson plan must be consistent with students' characteristics, learning objectives, classroom conditions, and instructional purposes. The findings of Celik et al. (2026) demonstrate that pre-service teachers' AI-related technological and pedagogical knowledge plays an important role in prompt engineering and the development of more adaptable lesson plans.

The findings of Sun and Huang (2025) also support this interpretation. The researchers indicate that generative AI can provide informational and cognitive support during the initial stages of lesson planning; however, the need for human guidance remains during the subsequent stages of lesson plan development. Accordingly, AI-supported lesson planning should not be regarded as a process that eliminates teachers' pedagogical responsibilities but rather as a collaborative design process that supports teachers' decision-making.

The primary aim of this study is to explore pre-service teachers' views on preparing lesson plans with AI. Existing findings in the literature indicate that AI can provide various forms of assistance to pre-service teachers during the lesson planning process. These include saving time,

generating suggestions for activities and instructional materials, developing different instructional strategies, and establishing the overall structure of lesson plans.

Nevertheless, the direct and uncritical use of AI-generated content may lead to various pedagogical problems. In particular, the generation of inaccurate information, insufficient consideration of students' characteristics, contextual inadequacy, and excessive dependence on AI are among the issues that pre-service teachers need to consider.

An evaluation of the present study in conjunction with the relevant literature indicates that teachers' roles in AI-supported lesson planning are not eliminated. On the contrary, teachers' abilities to evaluate AI-generated outputs and revise them from a pedagogical perspective become increasingly important.

Therefore, addressing AI use in teacher education programs solely in terms of technical tool proficiency is insufficient. Pre-service teachers need to develop competencies in evaluating the accuracy of AI-generated outputs, constructing effective prompts, analyzing pedagogical appropriateness, observing ethical principles, and aligning AI-supported content with the curriculum.

4.1. Recommendations

Based on the results of the study, the following recommendations are proposed:

Practical courses or modules focusing on AI literacy should be incorporated into teacher education programs at faculties of education.

Pre-service teachers should be taught not only how to use AI tools but also how to verify and critically evaluate the information generated by these tools.

In lesson planning courses, pre-service teachers could first be asked to prepare their own lesson plans and subsequently generate lesson plans using AI for the same instructional objectives. They could then compare the two plans based on pedagogical criteria.

Assessment instruments should be developed to evaluate AI-supported lesson plans in terms of alignment with learning objectives, suitability for students' levels, quality of instructional activities, assessment and evaluation, differentiation, and applicability.

Pre-service teachers should receive training on the protection of student data, copyright, citation practices, academic integrity, and ethical considerations in the use of AI.

Classroom-based studies should be conducted to investigate the effects of AI-supported lesson planning on students' actual learning outcomes.

REFERENCES

Arık, S., Özdere, M., & Çetin, M. (2026). Öğretmen adayları için yapay zekâ okuryazarlığı ölçeği: Geliştirme, geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Journal of Computer and Education Research, 14*. https://doi.org/10.18009/jcer.1792826

Ayanwale, M. A., Sanusi, I. T., Adelana, O. P., Aruleba, K. D., & Oyelere, S. S. (2022). Teachers' readiness and intention to teach artificial intelligence in schools. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 3*, 100099. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100099

Bautista, A., Estrada, C., Jaravata, A. M., Mangaser, L. M., Narag, F., Soquila, R., & Asuncion, R. J. (2024). Preservice teachers' readiness towards integrating AI-based tools in education: A TPACK approach. *Educational Process: International Journal, 13*(3), 40–68. https://doi.org/10.22521/edupij.2024.133.3

Celik, I., Kontkanen, S., Laru, J., & Dalyanci, A. A. (2026). Co-constructing adaptive lesson plans with GenAI: Pre-service teachers' Intelligent-TPACK and prompt engineering strategies. *Computers & Education, 241*, 105485. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105485

Chounta, I.-A., Bardone, E., Raudsep, A., & Pedaste, M. (2022). Exploring teachers' perceptions of artificial intelligence as a tool to support their practice in Estonian K-12 education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 32*, 725–755. https://doi.org/10.1007/s40593-021-00243-5

Deneme Gençoğlu, S., & Nalbant, S. (2025). Investigating AI literacy of Turkish pre-service EFL teachers. *Eğitim Kuram ve Uygulama Araştırmaları Dergisi, 11*(3), 299-313. https://doi.org/10.38089/ekuad.2025.244

Ekşi, S. (2026). Türkçe öğretmenleri ve öğretmen adaylarının yapay zekâya yönelik tutumları ve görüşleri: Karma yöntemli bir araştırma. *Ana Dili Eğitimi Dergisi, 14*(2), 374–397. https://doi.org/10.16916/aded.1890080

Gürbüz, F., Bostan Sarıoğlan, A., & Akbay, B. (2026). The effect of the AI-supported lesson planning process on science teacher candidates' technological pedagogical content knowledge and AI readiness. *Journal of Pedagogical Sociology and Psychology, 8*(3), e47606. https://doi.org/10.33902/JPSP.202647606

Haseski, H. İ. (2019). What do Turkish pre-service teachers think about artificial intelligence? *International Journal of Computer Science Education in Schools, 3*(2). https://doi.org/10.21585/ijcses.v3i2.55

Huang, W., Hew, K. F., & Fryer, L. K. (2022). Chatbots for language learning—Are they really useful? A systematic review of chatbot-supported language learning. *Journal of Computer Assisted Learning, 38*(1), 237–257. https://doi.org/10.1111/jcal.12610

Kaplan, A., & Kurdal, C. (2025). Yapay zekâ öğrenme niyeti ölçeği'nin Türk kültürüne uyarlanması: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Eurasian Journal of Teacher Education, 6*(2), 88-106. https://doi.org/10.69918/ejte.1666160

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., & others. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Kokoç, M. (2026). Generative AI as a learning partner or pedagogical challenge? Insights from pre-service teachers. *Journal of Uludag University Faculty of Education, 39*(2), 463-477. https://doi.org/10.19171/uefad.1799876

Köken, C. (2026). An investigation of preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of the concept of "artificial intelligence". *Adıyaman University Journal of Educational Sciences, 16*(1), 302-321. https://doi.org/10.17984/adyuebd.1817149

Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences, 13*(4), 410. https://doi.org/10.3390/educsci13040410

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, K. W. S., & Qiao, M. S. (2021). AI literacy: Definition, teaching, evaluation and ethical issues. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology, 58*, 504–509. https://doi.org/10.1002/pra2.487

Okonkwo, C. W., & Ade-Ibijola, A. (2021). Chatbots applications in education: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 2*, 100033. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100033

Özkul, H. (2025). Öğretmen adaylarının yapay zekâya ve yapay zekânın eğitimde kullanımına yönelik tutumlarının belirlenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9*(2), 95–108. https://doi.org/10.71272/debder.1806905

Pişkin Tunç, M. (2024). Examining pre-service mathematics teachers' purposes of using ChatGPT in lesson plan development. *Sakarya University Journal of Education, 14*(2), 391–406. https://doi.org/10.19126/suje.1476326

Sanusi, I. T., Ayanwale, M. A., & Tolorunleke, A. E. (2024). Investigating pre-service teachers' artificial intelligence perception from the perspective of planned behavior theory. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 6*, 100202. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100202

Sarıalai, A. D., & Yanpar Yelken, T. (2026). Öğretmen adaylarının eğitimde yapay zekâ kullanımına yönelik hazırbulunuşluk düzeylerinin incelenmesi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22*(2), 411–436. https://doi.org/10.17860/mersinefd.1909155

Sarıkaya, B., & Kavan, N. (2024). Türkçe öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik tutumlarının incelenmesi. *Elektronik Eğitim Bilimleri Dergisi, 13*(26), 191–203. https://doi.org/10.55605/ejedus.1550010

Sever, İ. (2026). Sosyal bilgiler öğretmen adaylarının üretken yapay zekâ kabul düzeylerinin dijital okuryazarlık açısından incelenmesi. *Academia Eğitim Araştırmaları Dergisi, 11*(1), 1–13. https://doi.org/10.53506/egitim.1760427

Sun, Y., & Huang, Y. (2025). Exploring the role of generative AI in collaborative lesson planning for pre-service teachers. *Journal of Computer Assisted Learning, 41*(4), e70098. https://doi.org/10.1111/jcal.70098

Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., & Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments, 10*(15), 10-24. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x

Yusuf, A., Pervin, N., Román-González, M., & Noor, N. M. (2024). Generative AI in education and research: A systematic mapping review. *Review of Education, 12*, e3489. https://doi.org/10.1002/rev3.3489

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education-Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*(1), 1-27. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

Zhang, P., & Tur, G. (2024). A systematic review of ChatGPT use in K-12 education. *European Journal of Education, 59*, e12599. https://doi.org/10.1111/ejed.12599

Kazancı Tınmaz, A., & Atmaca, M. (2026). Öğretmen adaylarının dijital yeterlikleri ile yapay zekâ okuryazarlıkları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Ege Eğitim Dergisi, 27*(2). https://doi.org/10.12984/egeefd.1805994

İNSAN HAKLARININ DÖRT KUŞAĞI VE SOSYAL HİZMET

Prof. Dr. Reyhan ATASÜ - TOPCUOĞLU
Hacettepe University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Social Work, 06800 Beytepe, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-9635-7578

ÖZET
İnsan haklarının tarihsel gelişimi, insan onuruna yönelen tehditler karşısında özgürlüklerin korunmasından sosyal, kolektif ve dijital hakların tanımlanmasına uzanan mücadelelerle şekillenmiştir. Bu bildirinin amacı, insan haklarının dört kuşak çerçevesinde tartışılan boyutlarını sosyal hizmetin uygulama alanları ve mesleki sorumluluklarıyla ilişkilendirmektir. Çalışma, kuramsal kaynakların ve uluslararası insan hakları belgelerinin yorumlayıcı incelemesine dayanmaktadır. İlk olarak doğal hukuk ve doğal hak düşüncesi, Magna Carta, Aydınlanma, Fransız Devrimi, dünya savaşları, İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi ve İkiz Sözleşmeler üzerinden bir tarihsel çerçeve sunulmaktadır. Ardından birinci kuşak medeni ve siyasal haklar ile ikinci kuşak ekonomik, sosyal ve kültürel haklar, negatif ve pozitif haklar ayrımıyla birlikte değerlendirilmektedir. Harun Tepe'nin yaklaşımından hareketle temel haklar ile bunların korunmasını sağlayan sosyal ve ekonomik düzenlemeler arasındaki ilişki açıklanmaktadır. Birinci kuşak haklar bakımından vaka çalışması, vaka savunuculuğu ve kişinin karar süreçlerine katılımı; ikinci kuşak bakımından kaynaklarla bağlantılandırma, vaka yönetimi, hak bilgilendirmesi, beceri geliştirme ve sosyal politika savunuculuğu öne çıkmaktadır. Üçüncü kuşak kolektif haklar, Jim Ife'nin yaklaşımı doğrultusunda toplum kalkınması, kültürel mirasın sürdürülmesi ve ekolojik adaletle ilişkilendirilmektedir. Toplulukla çalışma, toplum merkezleri ve katılımcı planlamanın yaşam koşullarının korunmasındaki rolü tartışılmaktadır. Dördüncü kuşak haklar tartışmasında dijital erişim, mahremiyet, kişisel verilerin korunması, algoritmik ayrımcılık, yapay zekâ ve nesnelerin interneti ele alınmaktadır. Yaşlı bakımında teknoloji kullanımı, güvenlik ile kişinin kendi yaşamı hakkında karar vermesi arasındaki gerilim üzerinden incelenmektedir. Ayrıca çevrim içi ısrarlı takip, izinsiz ifşa ve yapay zekâyla üretilen sahte içerikler karşısında sosyal hizmetin koruyucu ve önleyici eğitim, güvenlik planlaması ve savunuculuk görevleri değerlendirilmektedir. Bildiri, hak kuşaklarının birbirinden kopuk veya hiyerarşik kategoriler olarak görülmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sosyal hizmetin insan hakları sorumluluğu, bireysel güçlenmeyi kurumsal hesap verebilirlik ve eşitsiz yaşam koşullarının dönüştürülmesiyle birlikte ele almayı gerektirmektedir. Bu doğrultuda, sosyal hizmetin uygulama bilgisinin yayılması, vaka deneyimlerinin kurum ve politika düzeyindeki değişikliklere taşınması, hakların yaşamda kullanılabilir hale gelmesinin bir bileşeni olarak önerilmektedir.
Anahtar kelimeler: İnsan hakları, sosyal hizmet, sosyal haklar, ekolojik adalet, dijital haklar

FOUR GENERATIONS OF HUMAN RIGHTS AND SOCIAL WORK

ABSTRACT
The historical development of human rights has been shaped by struggles ranging from the protection of freedoms against threats to human dignity to the recognition of social, collective, and digital rights. This paper aims to relate the dimensions of human rights discussed within

the four-generation framework to social work practice and professional responsibilities. The study draws on an interpretive examination of theoretical sources and international human rights instruments. It first provides a historical framework encompassing natural law and natural rights, Magna Carta, the Enlightenment, the French Revolution, the world wars, the Universal Declaration of Human Rights, and the two International Covenants on Human Rights. It then examines first-generation civil and political rights and second-generation economic, social, and cultural rights alongside the distinction between negative and positive rights. Drawing on Harun Tepe's approach, it explains the relationship between fundamental rights and the social and economic arrangements that enable their protection. For first-generation rights, the discussion highlights social casework, case advocacy, and individuals' participation in decision-making; for second-generation rights, it emphasises connecting people with resources, case management, rights education, skills development, and social policy advocacy. Following Jim Ife's approach, third-generation collective rights are linked to community development, the preservation of cultural heritage, and ecological justice. The paper discusses the role of community work, community centres, and participatory planning in safeguarding living conditions. Its examination of fourth-generation rights addresses digital access, privacy, personal data protection, algorithmic discrimination, artificial intelligence, and the Internet of Things. Technology use in care for older people is explored through the tension between safety and individuals' self-determination. The paper also considers social work's responsibilities for protective and preventive education, safety planning, and advocacy in response to cyberstalking, non-consensual disclosure, and AI-generated fabricated content. It argues that generations of rights should not be understood as disconnected or hierarchical categories. Social work's human rights responsibilities require individual empowerment to be addressed together with institutional accountability and the transformation of unequal living conditions. Accordingly, the paper proposes disseminating social work practice knowledge and translating insights from casework into institutional and policy change as integral to making rights exercisable in everyday life.
Keywords: Human rights, social work, social rights, ecological justice, digital rights

1. GİRİŞ

Sosyal hizmet, insanların karşılaştığı güçlükleri yalnızca bireysel özelliklerle açıklayamaz. Yoksulluk, şiddet, bakım gereksinimi, engellilik nedeniyle dışlanma, yerinden edilme ve dijital hizmetlere erişememe, kişinin içinde yaşadığı kurumlar ve kaynak dağılımıyla birlikte değerlendirilmelidir. İnsan hakları yaklaşımı, bu sorunları yardım gereksiniminin ötesinde, korunması gereken insan olanakları ve yerine getirilmesi gereken kamusal sorumluluklar bakımından ele almaya imkân verir. Hizmet alan kişi bu çerçevede kendisine sunulanlarla yetinmesi beklenen pasif bir yararlanıcı değil, görüşleri ve talepleri dikkate alınması gereken bir hak sahibidir.

Uluslararası Sosyal Hizmet Uzmanları Federasyonu ile Uluslararası Sosyal Hizmet Okulları Birliğinin kabul ettiği küresel tanım, insan haklarını, sosyal adaleti, kolektif sorumluluğu ve farklılıklara saygıyı mesleğin merkezine yerleştirir (International Federation of Social Workers [IFSW], 2014). Bu tanımlar hemen her yerde kabul görmektedir. Ancak mesleki tanımda insan haklarının bulunması, hali hazırdaki uygulamaların kendiliğinden hak temelli olduğu anlamına gelmez. Sunulan hizmetlerin çeşitleri, eğitim, sağlık, kültürel faaliyet, yardım ya da sosyal hizmetlerin başvuru koşulları, kimlerin hak sahibi olduğu, uzmanın değerlendirme ölçütleri, erişim imkanları, hizmet alan kişinin karara katılımı ve itiraz yolları da bu bakımdan incelenmelidir. Carvalho ve Albuquerque (2025), insan haklarıyla sosyal hizmet arasındaki

ilişkinin mesleki etik, siyasal bağlam ve uygulama koşulları içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

İnsan haklarının gruplandırılması insan hakları felsefesinde ve hukukunda karşımıza çıkmaktadır. Gruplandırma aslında kronolojik bir ilerleme göstergesinden ziyade hakların uygulama alanlarına göre gruplanması olarak yorumlanabilir.

Çalışma, seçilmiş kaynakların kavramsal okunmasına ve ilgili belgelerin karşılaştırmalı değerlendirilmesine dayanan bir tartışmadır; temel mesele insan haklarının tarihsel gelişimindeki sık anılan köşe taşlarını hatırlamak, insan haklarının aslında zaman içinde medeniyet ilerledikçe gelişilen bir fikirler dizgesi olduğunu, tarihsel bir bağlamı olduğunu, mücadeleler ile değiştiğini ve geliştiğini fark etmek; değişen üretim ve tüketim koşullarında birinci ve ikinci kuşak klasik hakların uygulanabilirliğini sağlayan refah devleti aşınırken, bir yandan sanayii ve kitle tarımı ile ortaya çıkan kalkınmaya dayalı eşitsizliklerin, değişen iklimin ve dijitalleşmenin getirdiği yeni koşulların yeni haklar tanımlamayı gerekli kıldığını görmek; Bu dinamik ortamda insan onurunu korumak için sosyal hizmetin insan hakları ile olan ilişkisinin ne gibi bağlantıları içerdiğini ve içerebileceğini tartışmaya açmaktır.

2. İNSAN HAKLARININ TARİHSEL VE DÜŞÜNSEL GELİŞİMİ

Ife'ye (2015) göre insan hakları üç temele dayanır, (i) doğal hak doğal hukuk düşüncesi, İnsanların yalnızca insan oldukları için doğuştan haklara sahip olduğunu savunur; ii) hukuk geleneği ve devletin yükümlülükleri, hakları yasaların sözleşmelerin ve devletin koruma ve gerçekleştirme yükümlülüklerini güvence altına aldığını vurgular; (iii) inşa edilmiş haklar; hakların insanlar arasındaki etkileşim ve diyalog içinde tanımlandığını zamanla kültürle ve siyasal bağlamlara göre farklı şekillerde gerçekleşen mücadelelerle tartışılıp yeniden biçimlendiğini savunur.

2.1.Doğal hukuk ve doğal haklar

Doğal hukuk (lex naturalis) düşüncesi, yürürlükteki hukukun ötesinde ona ölçüt oluşturabilecek bir adalet veya doğru düzen anlayışına işaret eder, insanın akıl ile erişebileceği iyi ve kötü ayrımına dayanır. Bu anlayışın gerekçesi farklı dönemlerde doğa, akıl, insanın yapısı veya tanrısal düzen üzerinden kurulmuştur. Doğal haklar düşüncesi, insanın siyasal iktidarın tanımasından önce sahip olduğu ileri sürülen haklara yönelir. Böylece hak, yöneticinin bağışladığı ayrıcalıktan farklı bir temele yerleştirilir. Bununla birlikte doğal hukuktan modern insan haklarına tek çizgide ve zorunlu biçimde geçildiğini söylemek, düşünsel kopuşları ve siyasal mücadeleleri görünmez kılar (Gearty & Douzinas, 2014).

Bu ayrım sosyal hizmet açısından somut bir sonuç doğurur: Bir kişinin insan değerinin korunması talebi, yalnızca mevcut mevzuatta o kişi için yardım kalemi bulunup bulunmadığına indirgenemez. Mesleki müdahalenin hukuki araçları, başvuru koşulları ve kurumsal yetkileri müracaatçının faydasına hakarete geçirmenin yanı sıra özellikle politika geliştirme, yeni hukuki çerçeve çizme ve savunuculuk alanlarının gelişmesinde insanın değeri koruma hassasiyeti bize yeni ufuklar açar.

2.2.Magna Carta ve iktidarın sınırlandırılması

1215 Magna Carta Libertatum (Büyük Özgürlükler Sözleşmesi) kralın iktidarının hukukla sınırlandırılabileceğini gösteren tarihsel dönüm noktalarından biri olarak kabul edilir. Belge, toprak ağalarının krala karşı taleplerinden doğmuştur; güçlüler arasında bir güç sınırlama anlaşmasıdır. Önemi, siyasal gücün sınırsız olmadığı düşüncesinin yazılı bir güvenceye bağlanmasına yaptığı katkıdadır (UK Parliament, t.y.). Bu belgeyle kralın keyfi vergilendirme yetkisi sınırlandırılmış, olağanüstü durumlar dışında vergilerin düzenlenmesi krallık konseyinin onayına bağlı kullanılmıştır. Belgelin ünlü 39 maddesi ise kralın özgür insanları keyfi olarak tutuklama, mülklerine el koyma, sürgün etme, veya cezalandırma yetkisine son vermiştir.

Kişinin cezalandırılması kanunlara göre yapılacaktır denilmiştir. Bu belgeyle kralın hukukun üstünde olmadığı kralın da yazılı yasalara uyması gerektiği ortaya koymuştur. Kralın tek taraflı yasa yapma ya da yasayı iptal etme gücü sonlandırılmıştır. Kısaca Magna Carta hukukun üstünlüğünü, keyfi tutuklama ve cezalandırmanın sona ermesini ortaya koyduğu için önemli bir belge olarak kabul edilmektedir.

2.3.Aydınlanma ve devrimler

Orta Çağ'da Avrupa'da Katolik kilisesinin egemenliği skolastik düşüncenin getirdiği katı eşitsizlikler düzeninin ardından Aydınlanma düşüncesi, aklın kullanılması, otoritenin sorgulanması ve kişinin kendi kararlarını verebilmesi bakımından modern hak düşüncesinin önemli kaynaklarındandır. Kant'ın 1784 tarihli metninde Aydınlanma, kişinin başkasının yönlendirmesi olmadan kendi aklını kullanabilmesiyle ilişkilendirilir. Kant'ın yaklaşımı yalnızca bireysel cesareti değil, aklın kamusal kullanımının özgürlüğünü de gündeme getirir (Kant, 1784/2005). Kant aklını kullanabilme cesaretinin öneminin altını çizer insanın değeri ve onuru kendi aklımı kullanabilme cesaretini bulmasında ve bunu toplumsal koşullarının yaratılmasıyla ortaya çıkabilir.

1776 Amerikan Bağımsızlık Bildirgesi, devredilemez haklarla yönetilenlerin rızası arasında bağ kurmuş; yönetimin meşruiyetini hakların korunmasıyla ilişkilendirmiştir (Continental Congress, 1776). 1789 Fransız İnsan ve Yurttaş Hakları Bildirgesi ise özgürlük, eşitlik, güvenlik ve baskıya direnme taleplerini siyasal düzenin kurucu ilkeleri arasına yerleştirmiştir (Assemblée nationale constituante, 1789). Bu belgelerin evrensellik iddiaları ile tarihsel uygulamalar arasındaki fark da önemlidir: Kadınlar, köleleştirilmiş insanlar ve sömürgeleştirilen halklar, hakların eşit kullanımının dışında bırakılmıştır (Gearty & Douzinas, 2014). Vatandaşlık hakların kapsamı sonraki toplumsal mücadelelerle genişlemiş, yavaş yavaş kimi haklar, kadınlara, Afrika kökenlilere de mücadeleleri sayesinde tanınmıştır.

2.4. Sanayileşme ve sosyal hak talepleri

Sanayileşme, ücretli emeğin yaygınlaşması ve kentleşme sürecinde, köyden kente göçler, çözülen feodal yapılar yerlerini açlık ve sefalet içinde geniş işçi sınıfına bırakmıştır. Bu tablo da hukuken özgür olmak ile insanca yaşayabilmek arasındaki mesafe çok çarpıcı bir şekilde belirginleşmiştir. Uzun çalışma süreleri, çocuk emeği, sigortasızlık, yoksulluk, güvencesizlik ve sağlıksız konutlar, özgürlüğün sosyal ve ekonomik koşullardan ayrı düşünülemeyeceğini göstermiştir. Sovyet Devriminden sonra iki kutuplu hale gelen Batı Dünyasında giderek örgütlenen işçi hareketleri karşısında çalışma, dinlenme, eğitim, sağlık ve sosyal güvenlik gibi haklar ve refah devletleri gelişmeye başlamıştır. Bu dinamik sosyal haklarla temekklenen ikinci kuşak hakların temelini oluşturur.

Bu gelişme sosyal hizmetin tarihsel oluşumuyla da kesişir. Kentleşme ve işçileşme sürecinde ortaya çıkan pek çok toplumsal sorunlara (yoksulluk, sağlık sorunları, çocuk işçiliği, çocuk bakımı , şiddet vb) topluluk bazında çözüm üretmek için Almanya'da Alice Solomon, Amerika'da Jane Adams harekete geçerken, sosyal vaka çalışması ile birey ve aile bazında çözüm üretmek için ise Marry Ellen Richmond gibi isimler harekete geçerek hep birlikte sosyal hizmetleri temellendirmişlerdir. Modern sosyal hizmetlerin doğuşu bu toplumsal resimde ortaya çıkmıştır. Toplumsal hareketlerle sosyal hizmet mesleği birbiriyle bağlantılıdır (Vurkun ve Atasü Topçuoğlu'nun (2023).

2.5. Dünya savaşları ve uluslararası insan hakları düzeni

I. Dünya Savaşı sonrasında Milletler Cemiyeti ve uluslararası iş birliği arayışları, savaşın önlenmesi ve toplumsal düzenin kurulması sorunlarını gündeme taşımıştır. 1919'da kurulan Uluslararası Çalışma Örgütü, kalıcı barışın sosyal adaletle ilişkilendirilmesinin önemli kurumsal ifadesidir (International Labour Organization [ILO], t.y.). Bununla birlikte savaşlar

arası düzen, bütün insanları kapsayan etkili bir hak koruması sağlayamamıştır. II. Dünya Savaşı, Holokost ve kitlesel insanlık suçları, devletin kendi sınırları içindeki kişilere yönelik eylemlerinin yalnızca iç mesele sayılamayacağını göstermiştir. 1945 Birleşmiş Milletler Şartı, insan haklarının uluslararası iş birliğinin konusu olmasının kurumsal zeminini güçlendirmiştir (United Nations [UN], 1945). 10 Aralık 1948'de kabul edilen İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi ise medeni ve siyasal haklarla ekonomik, sosyal ve kültürel hakları ortak bir belgede birleştirmiştir (UN, 1948).

Evrensel Bildirge bir uluslararası sözleşme değildir; bir ortak açıklamadır. Buna rağmen insan hakları standartlarının geliştirilmesinde güçlü bir referans oluşturmuştur. 1966'da kabul edilen Medeni ve Siyasal Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme ile Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme, hakları taraf devletler bakımından sözleşmesel yükümlülüklere bağlamıştır. İkinci sözleşme 3 Ocak 1976'da, birincisi 23 Mart 1976'da yürürlüğe girmiştir (UN, 1966a, 1966b). Sıklıkla İkiz Sözleşmeler olarak adlandırılan bu metinlerin ayrı olması, hakların birbirinden bağımsız olduğu anlamına gelmez.

1993 Viyana Bildirgesi ve Eylem Programı, insan haklarının evrensel, bölünmez, birbirine bağımlı ve birbiriyle ilişkili olduğunu vurgulamıştır (World Conference on Human Rights, 1993). Böylece bir hak grubunu korumak adına diğerini önemsizleştiren yaklaşımlar karşısında bütünlük ilkesi açıkça ifade edilmiştir. Sosyal hizmetin kuşaklar sınıflandırmasından yararlanırken koruması gereken yaklaşım da budur.

3. KUŞAKLAR YAKLAŞIMI VE TEMEL HAKLAR İLE SOSYAL HAKLAR AYRIMI

Yaygın sınıflandırmada birinci kuşak medeni ve siyasal haklar özgürlükle, ikinci kuşak ekonomik, sosyal ve kültürel haklar eşitlikle, üçüncü kuşak dayanışma veya kolektif haklar ortak yaşam koşullarıyla ilişkilendirilir. Dördüncü kuşak tartışması ise bilimsel ve teknolojik gelişmelerin insan onuruna ve değerine yönelttiği yeni tehditleri gündeme getirir. Bununla birlikte özellikle üçüncü ve dördüncü kuşağın kapsamı konusunda tek bir liste bulunmamaktadır.

Negatif ve pozitif haklar ayrımı birinci ve ikinci kuşak sınıflandırmasıyla birlikte kullanılır. Negatif haklar, kişinin özgürlük alanına haksız müdahalede bulunulmamasını; pozitif haklar ise hizmet, kaynak ve kurumsal düzenleme sağlanmasını öne çıkarır. Negatif haklar, sivil ve siyasal hakları içerir, (korunması için ek bir çana gerekmeyen haklar (Tepe, 2009); pozitif haklar ise, sosyal, kültürel ve ekonomik hakları tanımlar. Buradaki ayrımı temelde devletin yetkilerini sınırlandıran yani negatif, ve devlete aktif görev veren pozitif eğitim, sağlık sosyal güvenlik, çalışma yaşamının düzelememesi hakları olarak düşünebiliriz. Bu ayrım hakların ortaya çıkış sırasından ziyade, devletlerin tutumunda temellenmiştir. İnsan hakları evrensel bildirgesinde yer alan insan haklarının tek bir sözleşme yerine bu hakları sağlama yükümlülüğü olan devletler tarafından iki sepete ayrılarak iki farklı sözleşme (UN, 1966a, 1966b) şeklinde yazılması bunun en temel göstergesidir. Liberal yaklaşım, pozitif hakların korunmasını ek çaba gerektirdiğini vurgulayarak bunların herkese sağlanamayacağını, dolayısıyla sadece siyasal kişisel hakların evrensel haklar olabileceğini, bunların temel olduğunu savunur (Tepe, 2009).

Ancak, daha derin düşünürsek, bu negatif pozitif haklar ayrımı, ayrım bütün devlet yükümlülüklerini açıklamaz. Örneğin işkencenin önlenmesi basit yapmamanın ötesinde eğitim, izleme ve etkili soruşturma da gerektirir; sağlık hakkı da ayrımcı uygulamalardan kaçınmayı içerir. Bu nedenle birinci kuşak hakların masrafsız olduğu veya ikinci kuşak hakların yalnızca harcama kalemlerinden oluştuğu izlenimi iş gerçekten uygulamaya geldiğinde ortadan kalkan bir ayrımdır. Haklar, devletin müdahale etmemesi, üçüncü kişilerin ihlallerine karşı koruması ve gerekli koşulları oluşturması bakımından birlikte değerlendirilmelidir.

Tepe (2009), temel hakları ile sosyal haklar arasındaki ilişkiyi tartıştığı çalışmasında yalnızca

yaşam ve kişi güvenliği gibi hakları temel insan hakkı sayan liberal yaklaşımlar ile belgelerde yer alan bütün hakları aynı türden gören yaklaşımlar arasında, Kuçuradi'nin insanın olanaklarını koruma istemlerine dayanan görüşünü tartışır. Burada ölçüt, bir talebin insanın değerini ve insana özgü olanakların gerçekleştirilme koşullarını korumasıdır.

Tepe'nin Kuçuradi üzerinden kurduğu çerçevede birinci grup temel haklar, kişinin güvenliği ve temel özgürlükleriyle ilgili, doğrudan korunan istemlerdir. İkinci grup ise kişinin olanaklarını geliştirmesinin genel önkoşullarıyla ilişkilidir; sağlık için gerekli yaşam düzeyi, eğitim ve çalışma bu bağlamda değerlendirilir. Bu ikinci grubun korunması, bir ülkedeki sosyal, ekonomik ve siyasal düzenlemelere bağlıdır. Sosyal güvenlik, asgari ücret, çalışma süreleri, dinlenme ve çocuk bakımına ilişkin düzenlemeler, bu hakların gerçekleşmesini sağlayan koşulları oluşturur (Tepe, 2009). Yani refah devleti ve sosyal hizmetlerin düzenlenmesi insanın olanaklarının sağlanması ve onun değerinin korunması için gereken kurumsal yapılardır.

Bu yaklaşımda sosyal ve ekonomik hakların bir kısmının temel haklarla aynı kavramsal kapsama alınmaması, onların önemsiz veya ikincil sayıldığı anlamına gelmez. Tam tersine kimi temel haklar, bu düzenlemeler herkese eşit biçimde sağlanmadıkça korunamaz. Tepe'nin (2009) ortaya koyduğu ayrım, uluslararası sözleşmelerin ekonomik, sosyal ve kültürel hakları insan hakları olarak tanıdığı hukuki sınıflandırmadan farklı, felsefi bir ayrımdır.

Örneğin çocuğun eğitime erişmesi, okulun resmen açık bulunmasıyla sağlanmış olmaz. Ailenin geliri, ulaşım, beslenme, erişilebilirlik, bakım yükü ve ayrımcılık da eğitime devamı etkiler. Sosyal hizmet uzmanı bu durumda hem çocuğun bireysel koşullarını hem de eğitime erişimi sağlayan sosyal hizmet düzenlemelerini değerlendirerek bireyi kaynaklar ve kurumlarla bağlantılandırmak zorundadır. Böylece sosyal hizmet sistemi, insan hakların hayata geçirilmesinin somut bir mekanizması olarak belirir.

4. BİRİNCİ KUŞAK HAKLAR VE SOSYAL HİZMET

Birinci kuşak haklar, siyasal iktidarla kişi arasındaki güç dengesizliğini sınırlandırma ve kişiyi keyfî müdahaleden koruma bakımından gelişmiştir. Yaşam, kişi özgürlüğü ve güvenliği, işkence yasağı, özel yaşam, düşünce ve ifade özgürlüğü, örgütlenme ve adil yargılanma bu çerçevede ele alınır. Siyasal katılım haklarının bir kısmı yurttaşlık koşullarıyla düzenlense de insan haklarının tamamı yurttaşlığa indirgenemez. Vatandaş olmayan kişiler de insan olmalarından kaynaklanan hakların taşıyıcısıdır (UN, 1948, 1966a). Sosyal hizmette bu haklar çocuk koruma, kadınlara yönelik şiddetle mücadele, adli sosyal hizmet göçmen ve mültecilerle sosyal hizmet gibi alanlarında görünür hale gelir.

Ife (2015) Birinci kuşak hakların her ne kadar üzerinde en çok uzlaşılan haklar olsalar da biz sağlanması için ek bir çaba gerekmediği düşünülse de pratikte pek çok ülkede sık sık ihlal edildiğini bizleri hatırlatmaktadır. Kişisel ve siyasal hakların korunması her şeyden önce bilinmelerine ve bu konuda farkındalık olmasına bağlıyken daha önce de belirtildiği gibi kurumsal düzenleme izleme gibi önlemlere de bağlıdır. Sosyal hizmet uzmanları hem adalet sistemindeki örneğin cezaevindeki çalışmaları ya da mahkeme sürecinde kişilerin özellikle çocukları uygun katılımının sağlanmasında vaka bazlı mesleki uygulamalarla öne çıkarken bireysel hak ihlallerinin önlenmesi için de bilgi oluşturmasında savunuculuk bazında çalışabilirler.

Ife (2015), savunuculuğun kendiliğinden güçlendirici sayılamayacağını hatırlatır. Uzmanın sürekli kişi adına konuşması, kişinin kendi sesinin ve karar verme imkânının zayıflamasına yol açabilir. Bu nedenle savunuculuk; kişinin tercihlerini anlamayı, erişilebilir bilgi sunmayı, kendi talebini ifade etmesini desteklemeyi ve temsil gerektiğinde bunun sınırlarını birlikte belirlemeyi gerektirir. Acil koruma ihtiyacının bulunduğu durumlarda da kişinin görüşünün mümkün olan en geniş ölçüde alınması önemlidir.

5. İKİNCİ KUŞAK HAKLAR VE SOSYAL HİZMET

İkinci kuşak haklar, kişinin eğitim, sağlık, çalışma, sosyal güvenlik, barınma ve kültürel yaşama katılım gibi alanlarda insanca yaşamasını sağlayan koşullarla ilişkilidir. Bu haklar, devletin yalnızca müdahale etmekten kaçınmasının yeterli olmadığını; hizmet, personel, kurum ve kaynak sağlaması gerektiğini gösterir. Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme, devletlerin mevcut kaynaklarının azamisini kullanarak hakların giderek tam gerçekleşmesini sağlamaya yönelik adımlar atmasını öngörür.

Örneğin, çalışma hakkı yalnızca herhangi bir işte çalışabilmek değildir, bu çalışmanın koşulları, karşılığında makul ücret, sosyal güvenlik, dinlenme ve örgütlenme haklarını bulunmasıyla ilgilidir. Eğitim ve sağlık hakları bakımından da hizmetin bulunması kadar erişilebilirliği ve eşit yararlanma koşulları önem taşır. Sosyal hizmetin burada temel görevi, kişinin hizmete ulaşmasını engelleyen bireysel ve kurumsal koşulları değiştirmekte müracaatçının yanında olmaktır.

Vaka yönetimi, kaynaklarla ve sosyal sistemlerle bağlantılandırma: Pozitif hakları olan ikinci kuşak haklara erişim hem hizmetim var olmasını hem de bunlara ulaşabilmeyi gerektirir. Bu durum sosyal hizmetin tanımında da var olan bireylerin sosyal sistemlerle ilişkilendirilmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Gerçek hayatta örneğin eğitim ya da sağlıkla ilgili hizmetler var olsa da her zaman bireylerin bunlara ulaşması kolay değildir. Bunun için öncelikle kişinin hangi haklara sahip olduğunu anlaması, başvuru için gereken belgelere ulaşması, randevu alabilmesi, ulaşımı sağlaması ve süreci takip edebilmesi gerekir. Dil farklılığı, okuryazarlık, engellilik, bakım sorumluluğu veya dijital erişim yetersizliği bu aşamaların her birinde engel oluşturabilir. Uzman, bu engelleri kişiyle birlikte değerlendirerek destek planı geliştirir. Haklar hakkında bilgi ve bilinç geliştirme, müracaatçının yapabilirliğini arttırıma, gereğinde kurumlarla ilişki kürara savunuculuk yapma da sosyal hizmetin ikinci kuşak haklarla ilgili uygulamaları içindedir.

Vaka yönetimi, birden fazla kurumla ilişki kurulması gereken durumlarda süreklilik sağlar. Örneğin kronik hastalığı olan ve gelir güvencesi bulunmayan bir kişi için sağlık hizmeti, sosyal yardım, engellilik değerlendirmesi, evde bakım ve konut koşulları birlikte ele alınabilir. Başvurunun yapılması müdahalenin sonu değildir. Hizmetin başlayıp başlamadığı, kişinin hizmetten yararlanıp yararlanamadığı ve karşılanmamış gereksinimlerin sürüp sürmediği izlenmelidir. Ife'nin (2017, ss. 59–61) ikinci kuşak haklarla ilişkilendirdiği doğrudan ve kurumsal uygulamaları, Yanı sıra politika geliştirmeyi araştırmayı ve gereğinde sosyal eylem planlamayı da içerir.

Bilgi bilinç ve beceri geliştirme: Hakların kullanılabilmesi, hakların bilinmesini de gerektirir. Sosyal hizmet uzmanları bireylere vaka çalışması içinde bilgi vermenin yanı sıra, bu anaçla grup çalışmaları yapabilir kampanyalar düzenleyebilir.

Ancak beceri geliştirme yaklaşımı, hizmete ulaşamamanın sorumluluğunu kişiye yüklememelidir. Örneğin dijital başvuru yapamayan yaşlı bir kişiye eğitim vermek yararlı olabilir; aynı zamanda yüz yüze başvuru seçeneğinin bulunması da savunulmalıdır. Ya da iş arama ya da meslek edinme kursu verilebilir ancak kaliteli istihdam yaratılması için de savunuculuk yapılmalıdır; ki bu da bizi sosyal politika alanında götürür.

Sosyal politika savunuculuğu: Eğitim, sağlık, kaliteli çalışma yaşamı gibi insanın olanaklarını geliştiren ikinci kuşak hakların gerçekleştirilmesinde var olan durumun analizi için araştırma yapmak, eksiklerin tamamlanması ve iyi uygulamaların yaygınlaşması için ise sosyal politika üretmek ve savunuculuk yapmak sosyal hizmetin yapabileceği mesleki uygulamalardır.

6. ÜÇÜNCÜ KUŞAK HAKLAR VE SOSYAL HİZMET

Üçüncü kuşak haklar, barış, gelişme, halkların kendi kaderini belirlemesi, çevre ve ortak mirasın korunması gibi kollektif hakları içerir, dayanışma ve kolektif haklar olarak adlandırılır. Üçüncü kuşak haklar tartışmasında sömürgecilik sonrası bağımsızlaşma, uluslararası eşitsizlikler ve sınır aşan çevresel sorunlar ve iklim krizi ile ilgilidir. Açık ki sağlıklı çevre, barış, kültürel miras gibi unsurlar tek bir bireyin sahip olabileceği şeyler değil, kollektif olarak yapılabileceklerle ilgili haklardır. Ife (2015,) kolektif hakların Batılı bireyci düşünsel gelenek içinde geri planda kalmasını sosyal hizmet bakımından da eleştirir. Nitekim, çevre ve yeşil sosyal hizmet alanı haricinde diğer kollektif haklarla ilgili sosyal hizmet tartışmaları pek gelişmiş değildir.

*Temel belgeler ve kültürel miras:*1972 Stockholm Bildirgesi çevre sorunlarını uluslararası gündemin merkezine taşımış, 1992 Rio Bildirgesi çevre ve kalkınma arasındaki ilişkiyi katılım ve ortak sorumluluk bakımından geliştirmiştir (UN, 1972, 1992). 1986 Gelişme Hakkı Bildirgesi, gelişmeyi ekonomik büyümenin ötesinde insanların katılımı ve kazanımların adil dağılımıyla ilişkilendirmiştir (UN, 1986). 2007 Yerli Halkların Hakları Bildirgesi, toplulukların kültürleri, yaşam biçimleri ve kolektif hakları bakımından önemli bir metindir (UN, 2007). 2022 tarihli 76/300 sayılı BM Genel Kurulu kararı da temiz, sağlıklı ve sürdürülebilir çevre hakkını tanımıştır (UN, 2022).

Kültürel mirasın devamı bakımından 1972 Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunması Sözleşmesi ile 2003 Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi ayrıca önemlidir. Bu belgeler kültürel varlıkların, bilgilerin ve pratiklerin kuşaklar arasında aktarılmasının kurumsal çerçevesini güçlendirir (UNESCO, 1972, 2003). Ancak kültürel yaşam ve miras yalnızca üçüncü kuşağa ait kapalı bir alan değildir; ikinci kuşak kültürel haklarla da kesişir. Kültürel mirası koruma gerekçesi, topluluk içindeki kadınların, çocukların veya farklı grupların haklarını sınırlayan uygulamaları meşrulaştırmak için kullanılamaz.

Ekolojik ve sosyal adalet: Ekosistemler, canlı ve cansız varlıkları dengeli döngüsü bildiğimiz var oluşun gerek koşul alanlarıdır. Gerek insan hakları tartışmasının kendisi gere sosyal hizmet mesleği insan merkezli düşünüş geleneğinden geldiği için ekolojik hassasiyetler de genelde insan merkezli ve insan faydası açısından gündeme gelmektedir. Bu bağlamda, Su, gıda, temiz hava ve güvenli yaşam çevresi; gelir, sağlık ve toplumsal ilişkilerden ayrı düşünülemez.

Çevrenin kirletilmesinde sanayilşemiş ve zengin ülkelerin çok yüksek iken, çevre sorunlarının kötü sonuçlarına katlanmada ise yoksul ülkeler ön plana çıkmaktadır. Ülkeler arasındaki bu adaletsizlik ülkelerin içinde de söz konusudur. Bu karşılık çevresel adalet; zararın dağılımını, kararlara katılımı ve yaşam çevresi üzerinde söz sahibi olmayı birlikte içerir.

Afet çalışmaları ve Toplum kalkınması: Sosyal hizmetin özellikle çevresel sorunlar ile ilgilendiği geleneksel çalışma alanı afet çalışmaları ola gelmiştir. Sosyal hizmet, afet alanında da acil yardım ve psikososyal destek gibi faaliyetlerin yanısıra, yeniden yerleşim, sosyal bağların sürdürülmesi, çocuklara destek, toplum merkezleri gibi çalışmalar da yürütebilir (Vurkun & Atasü Topçuoğlu, 2023).

Ife'ye (2015) göre üçüncü kuşak hakların sosyal hizmetteki karşılığı toplum kalkınmasıdır. Toplulukla çalışma, insanların ortak sorunlarını tanımlamasını, yerel bilgiyi görünür kılmasını, kaynakları harekete geçirmesini ve karar süreçlerinde etkili olmasını destekler. Bu noktada çevresel konularla ilgili olarak topluluğun sağlıklı bilgiye ulaşması da çok önemlidir. Burada topluluk, kendi içinde eşit ve çatışmasız bir bütün olarak kabul edilmemelidir. Kadınların, gençlerin, yaşlıların, engelli kişilerin ve farklı dil gruplarının katılım koşulları ayrıca gözetilmelidir.

Ife ve Fiske (2006), topluluk geliştirme yaklaşımının hakları ve kolektif sorumlulukları birlikte

düşünmeye katkısını vurgular. Topluluk kalkınması derken farklı kalkınma anlayışlarını olduğunu bilmeliyiz. Klasik kalkınma ekonomik kalkınmayı öncelerken çevreye en çok maliyet getiren yaklaşım olmuştur. Çevreye duyarlı sosyal adaleti gözeten, katılımı sağlayan kalkınma anlayışları da mevcuttur. Toplum merkezleri bu yaklaşımın uygulanabileceği alanlardır. Merkezler; hak bilgilendirmesi, ortak ihtiyaç analizi, kadın ve gençlik grupları, kuşaklararası dayanışma, kültürel aktarım ve yerel savunuculuk için kullanılabilir. Örneğin bir mahallenin çevresel sorunlarının haritalanması, etkilenen kişilerin deneyimlerini paylaşması ve belediyenin karar süreçlerine katılması aynı çalışma içinde birleştirilebilir. Merkezin yalnızca etkinlik düzenleyen bir kurum olmaktan çıkarak topluluğun karar gücünü desteklemesi önemlidir.

7. DÖRDÜNCÜ KUŞAK HAKLAR VE DİJİTAL SOSYAL HİZMET

Dördüncü kuşak insan hakları, üzerinde uzlaşılmış ve sınırları kesinleşmiş bir hukuk kategorisi değil, halen devam eden bir tartışmadır. Dördüncü kuşak insan hakları bilişim teknolojilerini ve biyoteknolojiyi kapsar. Dijital alan insan onuruna ve değerine yönelik bir takım tehditleri de beraberinde getirmiştir. Bunların başında dijital alanda kullandığımız pek çok uygulama ve platform üzerinden hangi verilerimizin toplandığını ve paylaşıldığını bilememiz yani mahremiyet ve kişisel verilerin korunmasıyla ilgili problmeler vardır. Bununla ilişkili olarak pek çok dijital alanda algoritmaların kullanıcılar hakkında oluşturduğu bilgiler onlara giderek daha fazla beğenilecekleri içeriğin sunulması böylece toplumda kutuplaşmanın artması ya da insanların belirli mal hizmet ve fikirlerin satışına dair manipüle edilmeleri gibi uygulamalarda söz konusudur. Açık ki bunlar insanın olanaklarını kısıtlı ya bilecek unsurlardır. Diğer yandan dijital alana erişim hem internete erişimi hem de çeşitli teknolojik araçlara sahip olabilecek ekonomik gücü ve bu araçları kullanabilecek bilgi ve becerileri de gerektirmektedir ki bizatihi bu durum yaş eğitim engellilik ve ekonomik güç odağındaki farklılıklar bazında çok ciddi sosyal adaletsizlikleri getirmektedir.

Dijital ortamda karşılaşılan sorunların bir bölümü mevcut hakların yeni koşullardaki görünümüdür. Örneğin çevrim içi iletişimin izlenmesi mahremiyetle, algoritmik dışlama eşitlikle, dijital hizmete erişememe sosyal haklarla ilişkilidir.

Dijital haklara ilişkin belge ve düzenlemeler: Mahremiyetin korunması Evrensel Bildirge'nin 12. ve Medeni ve Siyasal Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme'nin 17. maddelerinde yer alır (UN, 1948, 1966a). Kişisel verilerin otomatik işlenmesi bağlamında 1981 tarihli Avrupa Konseyi 108 sayılı Sözleşmesi önemli bir dönüm noktasıdır. Avrupa Birliği'nin 2016 Genel Veri Koruma Tüzüğü ve Türkiye'de 2016 tarihli 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, veri işlemeyi hak ve yükümlülükler bakımından düzenleyen örneklerdir (Council of Europe, 1981; European Parliament & Council of the European Union, 2016; Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, 2016).

Yapay zekâ bakımından UNESCO'nun 2021 Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı; insan onuru, eşitlik, şeffaflık ve insan gözetimi için etik bir çerçeve sunmaktadır (UNESCO, 2021). Avrupa Birliği'nin 2024 Yapay Zekâ Tüzüğü, belirli riskler karşısında düzenleyici yükümlülükler geliştirmiştir (European Parliament & Council of the European Union, 2024). Avrupa Konseyinin 2024 Yapay Zekâ, İnsan Hakları, Demokrasi ve Hukukun Üstünlüğü Çerçeve Sözleşmesi ise yapay zekâ faaliyetleriyle insan hakları arasındaki ilişkiyi uluslararası sözleşme düzeyinde ele almaktadır (Council of Europe, 2024). BM'nin 2024 Küresel Dijital Mutabakatı dijital iş birliği ve kapsayıcılık için siyasal bir çerçevedir (UN, 2024).

7.1. Yapay zekâ ve algoritmaların sosyal hizmetlere girişi

Değerlendirme ve karar sistemlerinde yapay zeka ve algoritmalar: Yapay zekâ sistemleri; bilgi sunma, örüntü belirleme, tahmin, sınıflandırma ve karar desteği gibi işlevlerle sosyal hizmet alanına girmektedir. Başcıllar ve arkadaşları (2022), bu uygulamaların erişim, hız ve kişiye göre

uyarlama imkânlarıyla birlikte mesleki ilişki, veri kalitesi ve etik sorunlar yarattığını tartışır. Bir sistemin teknik olarak hızlı olması, ürettiği kararın adil olduğunu göstermez. Verinin kimlerden toplandığı, kimlerin dışarıda kaldığı ve başarı ölçütünün nasıl tanımlandığı değerlendirmeye katılmalıdır.

Örneğin sosyal yardım başvurularını risk puanıyla değerlendiren varsayımsal bir sistem, geçmişte hizmete az ulaşabilmiş grupların deneyimlerini eksik verilerle temsil edebilir. Bir başvurunun düşük öncelikli görünmesi, kişinin gereksiniminin gerçekten az olduğunu göstermeyebilir. Sosyal hizmet uzmanı, algoritmik çıktıyı bağlamından bağımsız bir gerçek olarak kabul etmemeli; kişinin açıklamasını, sistemin hata ihtimalini ve ayrımcı sonuçları değerlendirmelidir.

Bakımında nesnelerin interneti ve özgürlük kontrol ilişkisi: Nesnelerin interneti, sensörler ve bağlantılı cihazlar aracılığıyla veri toplanmasını ve paylaşılmasını sağlar. Özellikle yaşlı bakımında düşme sensörleri, akıllı ilaç kutuları, giyilebilir cihazlar, duman ve gaz algılayıcıları veya günlük hareketleri izleyen sistemler kullanılabilmektedir (Havsut & Atasü-Topcuoglu, 2025). Sosyal hizmet uzmanının değerlendirmesinde kişinin neye onay verdiği, cihazın ne topladığı, veriye kimlerin eriştiği, alternatiflerin neler olduğu ve kişinin kullanım hakkındaki kararını değiştirebilmesi önem taşır. Bakım verenin rahatlaması ile bakım alanın tercihleri aynı şey değildir. Yaşlı kişinin dijital becerisinin sınırlı olması, görüşünün alınmaması için gerekçe oluşturamaz; anlaşılır bilgi ve karar desteği sağlanmasını gerektirir.

Dijital şiddet ve hak ihlalleri: Dijital şiddet, ısrarlı mesaj gönderme, çevrim içi takip, konumun izlenmesi, tehdit, taklit hesap açma, kişisel bilgilerin izinsiz ifşası ve rıza dışı görüntü paylaşımı gibi unsurları içerir (Mukka, 2025). UN Women (2025), yapay zekânın teknoloji aracılığıyla gerçekleştirilen kadınlara yönelik şiddeti büyütme ihtimaline dikkat çekmektedir.

Sosyal hizmet açısından dijital şiddetin sonuçları psikolojik sıkıntıyla sınırlı değildir. Kişi eğitimine veya işine devam edemeyebilir, sosyal ilişkilerden çekilebilir, barınma güvenliğini kaybedebilir veya ekonomik zarara uğrayabilir. Kurumların olayı önemsizleştirmesi veya kişiyi dijital alandan tamamen çekilmeye yöneltmesi, ihlalin sonuçlarını ağırlaştırabilir. Bu alanda sosyal hizmet bilgi bilinç farkındalık arttırmanın yanı sıra sağlıklı dijital platform kullanımlarına da öne çıkartacak çalışmalar yapabilir.

Koruyucu önleyici eğitim ve vaka müdahalesi: Koruyucu ve önleyici çalışmalar, kişilerin dijital riskleri tanımasını ve destek yollarını bilmesini amaçlar. Okullarda, toplum merkezlerinde, kadın danışma birimlerinde ve yaşlı hizmetlerinde; mahremiyet ayarları, hesap erişimi, izinler, konum paylaşımı, rıza ve başvuru mekanizmaları erişilebilir biçimde ele alınabilir.

8. SONUÇ: DÖRT KUŞAK İNSAN HAKLARI VE SOSYAL HİZMET MÜDAHALELERİ

Sosyal hizmetin tüm müdahale biçimleri her dört hak kuşağı içinde kullanılabilir. Kabaca hangi kuşak hangi sosyal hizmet müdahaleleri ile Daha çok ilişkili görmek için aşağıdaki tabloda kısa bir özet sunulmuştur.

Tablo 1. Dört kuşak insan hakları ve sosyal hizmet

Hak boyutu	Öne çıkan mesele	Sosyal hizmet uygulamaları
Birinci kuşak	Güvenlik, özgürlük ve güç dengesizliği	Savunuculuk, vaka savunuculuğu ve karar süreçlerine katılım
İkinci kuşak	Sosyal haklara fiilî erişim	Kaynaklarla bağlantılandırma, vaka yönetimi, bilgi ve beceri geliştirme, politika savunuculuğu
Üçüncü kuşak	Ortak yaşam, kültürel devamlılık ve ekolojik adalet	Toplulukla çalışma, toplum merkezleri, toplum kalkınması, savunuculuk
Dördüncü kuşak	Dijital eşitsizlik, veri	Dijital hak eğitimi, dijital okur yazarlık, grup çalışması,

tartışması	işleme ve dijital şiddet	IoT erişim kullanım vaka yönetimi

Sonuç olarak, sosyal hizmetin insan hakları sorumluluğu, kişilerin ve kurumların insan haklarını bilmesini, bu haklara dair farkındalık geliştirmesini, hakları kullanmak için gerekli bilgi ve beceriye kavuşmasını, kurumların hakları sağlamaya yönelik uygulamalar geliştirmesini, insanların kendi taleplerini ifade edebilmesini, sosyal haklara ulaşabilmesini, ortak yaşam alanları üzerinde söz sahibi olabilmesini ve dijital teknolojiler i kullanabilmesini ve bu teknolojilerin zararlı etkilerinden korunabilmesini içeren çok geniş bir yelpaze ve gelişime açık bir uygulama alanıdır.

Kaynakça

Assemblée nationale constituante. (1789). *Declaration of human and civic rights of 26 August 1789*. Conseil constitutionnel. https://www.conseil-constitutionnel.fr/en/declaration-of-human-and-civic-rights-of-26-august-1789

Başcıllar, M., Karataş, M., ve Pak Güre, M. D. (2022). Dijital çağda sosyal algoritmalar: Yapay zekâ ve sosyal hizmet. *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi, 22*(56), 539–565. https://doi.org/10.21560/spcd.vi.1081060

Boyar, O., ve Kama Işık, S. (2019). Dördüncü kuşak haklar ve bilişim teknolojilerinin doğuşunda mahremiyet kavramına karşılaştırmalı bir bakış. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi, 25*(2), 602–623. https://doi.org/10.33433/maruhad.667577

Carvalho, M. I., & Albuquerque, C. (2025). Human rights-based social work perspective, ethics, and practice: An exploratory literature review. *Journal of Human Rights and Social Work, 10*, 647–661. https://doi.org/10.1007/s41134-025-00393-9

Continental Congress. (1776). *Declaration of Independence*. National Archives. https://www.archives.gov/founding-docs/declaration-transcript

Council of Europe. (1981). *Convention for the protection of individuals with regard to automatic processing of personal data* (ETS No. 108). https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=108

Council of Europe. (2024). *Council of Europe framework convention on artificial intelligence and human rights, democracy and the rule of law* (CETS No. 225). https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/the-framework-convention-on-artificial-intelligence

European Parliament & Council of the European Union. (2016). *Regulation (EU) 2016/679 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Gearty, C., & Douzinas, C. (2014). Introduction. C. Douzinas & C. Gearty (Ed.), *The meanings of rights: The philosophy and social theory of human rights* içinde (ss. 1–12). Cambridge University Press.

Havsut, F., & Topcuoglu, R. A. (2025). The digital age of aging: Artificial intelligence, ethical boundaries, and social work in elderly care. *Northern Journal of Health Sciences, 1*(3), 210–228.

Ife, J. (2015). Human Rights and Social Work, Cambridge University Press.

Ife, J., & Fiske, L. (2006). Human rights and community work: Complementary theories and practices. *International Social Work, 49*(3), 297–308. https://doi.org/10.1177/0020872806063403

International Federation of Social Workers. (2014, 6 Ağustos). *Global definition of social work*. https://www.ifsw.org/global-definition-of-social-work/

International Labour Organization. (t.y.). *History of the ILO*. https://www.ilo.org/about-ilo/history-ilo

Kant, I. (2005). Aydınlanma nedir? (A. Yayla, Çev.). *Liberal Düşünce, 10*(38–39), 225–230. (Orijinal çalışma 1784 yılında yayımlanmıştır)

Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, Kanun No. 6698. (2016, 7 Nisan). *Resmî Gazete* (Sayı 29677). https://www.kvkk.gov.tr/Icerik/6649/Personal-Data-Protection-Law

Mukka, N. (2025, 13 Kasım). *FAQs: Digital abuse, trolling, stalking, and other forms of technology-facilitated violence against women and girls*. UN Women Australia. https://unwomen.org.au/faqs-

digital-abuse-trolling-stalking-and-other-forms-of-technology-facilitated-violence-against-women-and-girls/
Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights. (2011). *Guiding principles on business and human rights: Implementing the United Nations "Protect, Respect and Remedy" framework*. United Nations. https://digitallibrary.un.org/record/720245
Tepe, H. (2009). Sosyal haklar ve insan hakları: Sosyal ve ekonomik haklar olmadan insan hakları korunabilir mi? N. Mütevellioğlu & M. Zanbak (Ed.), *Uluslararası Sosyal Haklar Sempozyumu bildiriler* içinde (ss. 97–104). Belediye-İş Sendikası.
UK Parliament. (t.y.). *Magna Carta*. https://www.parliament.uk/about/living-heritage/evolutionofparliament/originsofparliament/birthofparliament/overview/magnacarta/
UNESCO. (1972). *Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage*. https://www.unesco.org/en/legal-affairs/convention-concerning-protection-world-cultural-and-natural-heritage
UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. https://www.unesco.org/en/legal-affairs/convention-safeguarding-intangible-cultural-heritage
UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-ethics-artificial-intelligence
United Nations. (1945). *Charter of the United Nations*. https://www.un.org/en/about-us/un-charter/full-text
United Nations. (1948). *Universal Declaration of Human Rights*. https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights
United Nations. (1966a). *International Covenant on Civil and Political Rights*. https://2covenants.ohchr.org/About-ICCPR.html
United Nations. (1966b). *International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights*. https://2covenants.ohchr.org/About-ICESCR.html
United Nations. (1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment* (A/CONF.48/14/Rev.1). https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972
United Nations. (1986). *Declaration on the Right to Development* (A/RES/41/128). https://www.un.org/en/events/righttodevelopment/declaration.shtml
United Nations. (1992). *Rio Declaration on Environment and Development* (A/CONF.151/26, Vol. I). https://www.un.org/conferences/environment/rio1992
United Nations. (2007). *United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples* (A/RES/61/295). https://www.un.org/development/desa/indigenouspeoples/declaration-on-%20the-rights-of-indigenous-peoples.html
United Nations. (2022). *The human right to a clean, healthy and sustainable environment* (A/RES/76/300). https://digitallibrary.un.org/record/3983329
United Nations. (2024). *Pact for the Future, Global Digital Compact and Declaration on Future Generations* (A/RES/79/1). https://www.un.org/en/summit-of-the-future/global-digital-compact
UN Women. (2025). *How AI is exacerbating technology-facilitated violence against women and girls*. https://knowledge.unwomen.org/sites/default/files/2026-01/how-ai-is-exacerbating-technology-facilitated-violence-against-women-and-girls-en.pdf
Vurkun, S., & Atasü Topçuoğlu, R. (2023). Ekolojik ve sosyal adaletin sağlanmasında makro uygulamalar. S. Koçak & A. İçağasıoğlu Çoban (Ed.), *Ekolojik krizlere disiplinlerarası yaklaşım ve sosyal hizmet uygulamaları* içinde (ss. 163–177). Nika Yayınevi.
World Conference on Human Rights. (1993). *Vienna Declaration and Programme of Action* (A/CONF.157/23). https://www.un-documents.net/ac157-23.htm

COP 31, İKLİM ADALETİ, REFAH DEVLETİ VE SOSYAL HİZMET: TÜRKİYE'DE KENT-BÖLGELER, BUEN VIVIR VE AGROEKOLOJİK DÖNÜŞÜM

Prof. Dr. Reyhan ATASÜ - TOPCUOĞLU
Hacettepe University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 06800 Beytepe, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-9635-7578

ÖZET
İklim değişikliği, ekolojik sistemlerin bozulmasının ötesinde, toplumsal eşitsizlikleri derinleştiren, sosyal hakların gerçekleştirilmesini güçleştiren ve refah devletlerinin koruma kapasitelerini sınayan çok boyutlu bir krizdir. Bu çalışmanın amacı, iklim krizini sosyal adalet, çevresel adalet, insan hakları ve sosyal hizmet perspektiflerinden incelemek; iklim değişikliğine uyumun sosyal politika açısından taşıdığı anlamı tartışmak ve Türkiye'nin COP31 Başkanlığı bağlamında politika önerileri geliştirmektir. Çalışma, uluslararası iklim yönetişimine ilişkin belgeleri, sosyal hizmet ve refah devleti literatürünü ve yazarın içinde yer aldığı araştırmaları birlikte değerlendiren kuramsal ve araştırma temelli bir tartışma niteliğindedir. Türkiye kent-bölgelerine ilişkin TÜBİTAK 1003 araştırmasının bulguları, kentsel dayanıklılığın yalnızca fiziksel altyapıyla değil, sosyal adalet, kent hakkı, katılım, doğal varlıkların korunması ve bireylerin yapabilirlikleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Buen Vivir yaklaşımı, refahın ekonomik büyümenin ötesinde, toplulukların ve ekosistemlerin ortak iyiliği üzerinden yeniden düşünülmesini mümkün kılmaktadır. Ankara Tahtacıörencik Doğal Yaşam Kolektifi üzerine yürütülen agroekoloji araştırması ise ekolojik dönüşümün kadınların ekonomik güçlenmesi, kamusal alana katılımı ve kolektif eylem kapasiteleriyle ilişkisini ortaya koymaktadır. Çalışmada, iklim uyumunun yalnızca teknik bir çevre yönetimi sorunu değil, sosyal hakların korunması ve yapabilirliklerin geliştirilmesi bakımından bir refah devleti ve sosyal hizmet sorumluluğu olduğu savunulmaktadır.
Anahtar kelimeler: İklim adaleti, refah devleti, sosyal hizmet, çevresel adalet, insan hakları, kent-bölge, Buen Vivir, agroekoloji.

COP31, CLIMATE JUSTICE, THE WELFARE STATE AND SOCIAL WORK: CITY-REGIONS IN TÜRKİYE, BUEN VIVIR AND AGROECOLOGICAL

ABSTRACT
Climate change is a multidimensional crisis that extends beyond the degradation of ecological systems, deepening social inequalities, hindering the realisation of social rights, and testing the protective capacities of welfare states. This study aims to examine the climate crisis from the perspectives of social justice, environmental justice, human rights, and social work; to discuss the implications of climate change adaptation for social policy; and to develop policy recommendations in the context of Türkiye's COP31 Presidency. The study offers a theoretical and research-informed discussion that brings together documents on international climate governance, the literature on social work and the welfare state, and research in which the author has participated. Findings from the TÜBİTAK 1003 research project on city-regions in Türkiye demonstrate that urban resilience is linked not only to physical infrastructure but also to social justice, the right to the city, participation, the protection of natural assets, and individuals' capabilities. The Buen Vivir approach enables well-being to be reimagined beyond economic growth, in terms of the collective well-being of communities and ecosystems. Agroecological

research conducted on the Tahtacıörencik Natural Living Collective in Ankara further reveals the relationship between ecological transformation and women's economic empowerment, participation in the public sphere, and capacities for collective action. The study argues that climate adaptation is not merely a technical issue of environmental management but a responsibility of the welfare state and social work in protecting social rights and enhancing capabilities.
Keywords: Climate justice, welfare state, social work, environmental justice, human rights, city-region, Buen Vivir, agroecology.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, yirmi birinci yüzyılın en kapsamlı toplumsal dönüşüm sorunlarından biridir. Küresel sıcaklık artışı, aşırı hava olayları, kuraklık, su kıtlığı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve ekosistemlerin bozulması, yalnızca doğal çevreyi değil, insanların geçim kaynaklarını, sağlıklarını, barınma koşullarını, gıda sistemlerini ve sosyal ilişkilerini de etkilemektedir. İklim değişikliğinin etkileri toplumsal gruplar ve ülkeler arasında eşit dağılmamaktadır. Aynı çevresel tehlikeye maruz kalan insanların karşılaştıkları zararlar, sahip oldukları ekonomik kaynaklara, yaşadıkları konutların niteliğine, çalışma koşullarına, sağlık ve sosyal hizmetlere erişimlerine ve toplumsal konumlarına göre farklılaşmaktadır (IPCC, 2022). İklim değişikliğinin yalnızca ekolojik bir kriz olarak değerlendirilmesi yetersizdir. İklim krizi aynı zamanda toplumsal kaynakların dağılımına, sosyal haklara, siyasal katılıma ve kamu kurumlarının sorumluluklarına ilişkin bir adalet sorunudur.

İklim değişikliğine ilişkin temel sorular yalnızca küresel sıcaklığın ne kadar artacağı veya sera gazı emisyonlarının nasıl azaltılacağı değildir. Şunların da sorulması gerekmektedir: İklim krizinin oluşumunda kimler daha fazla sorumludur? İklim değişikliğinin maliyetlerini kimler üstlenmektedir? Hangi toplumsal gruplar kendilerini koruyabilmek için yeterli kaynaklara sahiptir? İklim politikalarının oluşturulmasında kimler temsil edilmektedir? Bu sorular, iklim krizini refah devleti ve sosyal hizmetin temel kavramlarıyla ilişkilendirmektedir. Refah devleti, toplumsal risklerin bireyler ve haneler üzerinde yarattığı sonuçları azaltmayı, sosyal hakları güvence altına almayı ve toplumsal refahı geliştirmeyi amaçlayan kurumsal düzenlemeler bütünü olarak ele alınabilir. Sosyal hizmet ise insan hakları, sosyal adalet, toplumsal katılım ve güçlenme ilkeleri doğrultusunda bireylerin, grupların ve toplulukların yaşam koşullarını iyileştirmeyi hedeflemektedir.

İklim değişikliği bu iki alanın da temel varsayımlarını yeniden değerlendirmeyi gerektirmektedir. Çünkü iklim krizinin ortaya çıkardığı riskler yalnızca yeni sosyal koruma ihtiyaçları üretmemekte; mevcut sosyal politika sistemlerinin hangi toplumsal grupları koruduğunu, hangilerini dışarıda bıraktığını ve refahın hangi değerler üzerinden tanımlandığını da tartışmaya açmaktadır. Bu çalışma, iklim adaletinin refah devleti ve sosyal hizmet açısından anlamını tartışmakta; insan hakları ve çevresel adalet arasındaki ilişkileri incelemekte; Türkiye kent-bölgeleri ile agroekolojik dönüşüm deneyimlerinden hareketle COP31 sürecine yönelik politika önerileri geliştirmektedir.

2. ULUSLARARASI İKLİM YÖNETİŞİMİ VE İKLİM ADALETİ

2.1. COP Süreci

COP sürecinin temeli, 1992 yılında kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne dayanmaktadır. Sözleşmeye taraf devletlerin oluşturduğu Taraflar Konferansı (Conference of the Parties, COP), iklim değişikliğiyle mücadeleye ilişkin uluslararası kararların alındığı temel çok taraflı platformdur. 1997 Kyoto Protokolü ve 2015 Paris Anlaşması, bu

sürecin önemli dönüm noktalarını oluşturmaktadır. Paris Anlaşması, küresel ortalama sıcaklık artışının sanayi öncesi düzeylerin 2°C oldukça altında tutulmasını ve artışın 1,5°C ile sınırlandırılması için çaba gösterilmesini hedeflemektedir (UNFCCC, 2015).

Öte yandan, Ülkeler hem kirlet hızları hem de çeviri kirliliği ve iklim değişiminden etkilenme oranları açısından birbirlerinden çok farklıdır. Genelde kirleten ülkeler iklim değişikliğinden daha az etkilenen ülkelerdir. Bu noktada, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreli kabiliyetler ilkesi önemlidir. Bu ilke, iklim değişikliğinin ortak bir sorun olduğunu kabul etmekle birlikte, ülkelerin tarihsel sorumluluklarının ve mücadele kapasitelerinin eşit olmadığını vurgulamaktadır. Dolayısıyla iklim adaleti, yalnızca emisyon azaltımının nasıl gerçekleştirileceğiyle değil, bu dönüşümün sorumluluklarının, maliyetlerinin ve yararlarının nasıl dağıtılacağıyla da ilgilidir.

2.2. Karbon Eşitsizliği ve Toplumsal Sınıflar

İklim eşitsizliği yalnızca ülkeler arasında değil, ülkelerin kendi içlerinde de ortaya çıkmaktadır. Chancel'in (2022) küresel karbon eşitsizliği araştırmasına göre 2019 yılında dünya nüfusunun en yoksul yüzde 50'si küresel emisyonların yaklaşık yüzde 12'sinden sorumluyken, en zengin yüzde 10'un payı yaklaşık yüzde 48'dir. Bu bulgu, emisyon sorumluluğunun yalnızca ulusal ortalamalarla açıklanamayacağını, gelir ve servet eşitsizliklerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu açıdan iklim adaleti, ülkeler arasındaki tarihsel sorumlulukların yanı sıra, toplumsal sınıflar arasındaki üretim, tüketim ve kaynak kullanım eşitsizliklerini de kapsamalıdır.

Örneğin yüksek gelirli grupların ulaşım, konut ve tüketim kalıpları ile düşük gelirli grupların tüketim kalıpları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Buna karşılık düşük gelirli gruplar, iklim değişikliğinin etkilerinden korunmak için daha sınırlı ekonomik kaynaklara sahiptir. Böylece iklim krizine katkı ile iklim krizinden zarar görme arasında önemli bir adaletsizlik ortaya çıkmaktadır.

2.3. İklim Riskinin Toplumsal Olarak Üretilmesi

İklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için fiziksel tehlike ile toplumsal kırılganlık arasında ayrım yapmak gerekmektedir. IPCC (2022), iklim riskinin tehlike, maruziyet ve kırılganlık arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıktığını belirtmektedir. Örneğin aynı kentte yaşayan iki kişinin aşırı sıcaklara maruz kaldığını düşünelim. Birinci kişi iyi yalıtılmış ve soğutma sistemine sahip bir konutta yaşamakta, sağlık hizmetlerine erişebilmekte ve çalışma koşullarını düzenleyebilmektedir. İkinci kişi ise yetersiz bir konutta yaşamakta, açık havada çalışmakta, enerji maliyetleri nedeniyle evini serinletememekte ve sosyal güvenlikten yararlanamamaktadır. Her iki kişi aynı meteorolojik tehlikeyle karşı karşıyadır. Ancak tehlikenin sağlık, gelir ve yaşam koşulları üzerindeki sonuçları aynı değildir. Bu örnek, kırılganlığın bireylerin değişmez özelliklerinden kaynaklanmadığını; gelir dağılımı, konut piyasası, istihdam ilişkileri, sosyal koruma sistemleri ve kamu hizmetleri gibi toplumsal düzenlemeler tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Dolayısıyla iklim değişikliği mevcut toplumsal eşitsizliklerin üzerine eklenen yeni bir risk olmanın ötesinde, bu eşitsizlikleri yeniden üreten ve derinleştiren bir süreçtir.

3. İKLİM KRİZİ, REFAH DEVLETİ VE SOSYAL HAKLAR

3.1. İklim Değişikliği Neden Bir Sosyal Politika Sorunudur?

Refah devletlerinin temel işlevlerinden biri, bireylerin ve hanelerin yaşamları boyunca karşılaştıkları toplumsal risklerin etkilerini azaltmaktır. İşsizlik, hastalık, yaşlılık, engellilik, bakım ihtiyacı ve gelir yetersizliği gibi risklere karşı sosyal güvenlik, sağlık, eğitim, bakım ve sosyal hizmet sistemleri geliştirilmiştir. İklim değişikliği ise bu riskleri hem yoğunlaştırmakta hem de birbirleriyle daha güçlü biçimde ilişkilendirmektedir. Örneğin kuraklık yalnızca

tarımsal üretimi azaltan çevresel bir olay değildir. Aynı zamanda çiftçilerin gelir kaybına, tarım işçilerinin işsiz kalmasına, gıda fiyatlarının yükselmesine, hanelerin yoksullaşmasına ve göç baskısının artmasına yol açabilir. Benzer biçimde bir sel felaketi yalnızca konutlara ve altyapıya zarar vermemektedir. İnsanların barınma, eğitim, sağlık, çalışma ve bakım hizmetlerine erişimini de kesintiye uğratabilmektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkileri, birbirinden bağımsız sosyal riskler olarak değil, birbirini tetikleyen ve derinleştiren riskler bütünü olarak değerlendirilmelidir. İklim değişikliğinin refah devletleri açısından üç temel sonucu bulunmaktadır.

İlk olarak, mevcut sosyal risklerin sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Aşırı sıcaklar sağlık risklerini artırabilir; kuraklık ve afetler geçim kaynaklarını tehdit edebilir; yerinden edilme barınma ve sosyal hizmet ihtiyaçlarını yoğunlaştırabilir.

İkinci olarak, yeni sosyal koruma ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Aşırı sıcaklara karşı koruma, afet sonrasında bakım hizmetlerinin sürekliliği, iklim nedeniyle geçim kaynaklarını kaybeden hanelerin desteklenmesi ve iklim uyumunun konut politikalarına dahil edilmesi bunlar arasındadır.

Üçüncü olarak, sosyal politika sistemlerinin mevcut eşitsizlikleri ne ölçüde azaltabildiği yeniden önem kazanmaktadır. Kayıt dışı çalışanlar, güvencesiz işçiler, göçmenler ve yoksul haneler, iklim tehlikeleri karşısında yeterli korumaya erişemeyebilir.

Bu açıdan iklim değişikliğine uyum, refah devletlerinin gelecekte üstlenmesi gereken yeni bir sorumluluk alanı olarak değerlendirilebilir.

3.2. İklim Uyumu ve Sosyal Hakların Gerçekleştirilmesi

İklim değişikliğiyle ilişkili sosyal haklar arasında sağlık, yeterli beslenme, suya erişim, barınma, eğitim, sosyal güvenlik ve insana yakışır çalışma koşulları bulunmaktadır. Bu hakların gerçekleştirilmesi yalnızca hukuki düzenlemelerin varlığına bağlı değildir. İnsanların bu haklardan fiilen yararlanabilmeleri için gerekli ekonomik, kurumsal ve çevresel koşulların da oluşturulması gerekir. Örneğin barınma hakkının gerçekleştirilmesi, iklim değişikliği koşullarında yalnızca bir konuta sahip olmayı değil; güvenli, sağlıklı ve aşırı sıcaklar ile afet risklerine karşı yeterli koruma sağlayan bir konutta yaşamayı da gerektirir. Benzer biçimde sağlık hakkı, aşırı sıcaklardan kaynaklanan sağlık risklerine karşı önleyici hizmetleri; eğitim hakkı, afetler sırasında eğitimin sürekliliğini; sosyal güvenlik hakkı ise iklim nedeniyle ortaya çıkan gelir ve geçim kayıplarına karşı korumayı kapsayan politikalarla desteklenmelidir.

İklim uyumunun insan hakları açısından iki boyutu bulunmaktadır.

Birincisi, insanların iklim tehlikelerinden korunmasıdır.

İkincisi ise insanların korunma imkânlarını sınırlayan yapısal eşitsizliklerin azaltılmasıdır.

İkinci boyut dikkate alınmadığında iklim uyum politikaları, mevcut toplumsal eşitsizlikleri azaltmak yerine yeniden üretebilir.

3.3. Sosyal Korumadan Ekososyal Refaha

İklim değişikliğinin refah devletleri açısından ortaya çıkardığı sorun yalnızca daha fazla sosyal yardım ve sosyal hizmet sunulması değildir. Aynı zamanda refahın nasıl üretildiği ve nasıl tanımlandığıyla ilgilidir. Geleneksel refah politikaları çoğunlukla ekonomik büyüme, istihdam, gelir artışı ve tüketim olanaklarıyla ilişkilendirilmiştir. Oysa ekolojik sınırlar, sürekli büyüme ve artan kaynak tüketimine dayanan refah anlayışlarının sürdürülebilirliğini tartışmalı hâle getirmektedir. Ekososyal refah perspektifi, insanların yaşam kalitesini doğal kaynakların sınırsız kullanımına dayandırmadan geliştirmenin yollarını araştırmayı gerektirir. Bu yaklaşım, sosyal korumanın önemini azaltmaz. Tersine sosyal korumanın ekolojik dönüşümle birlikte düşünülmesini savunur. Örneğin enerji dönüşümünün düşük gelirli hanelerin enerjiye erişimini güçleştirmemesi, tarımsal dönüşümün küçük üreticilerin geçim kaynaklarını ortadan

kaldırmaması ve kentlerin iklim uyum yatırımlarının yoksul mahalleleri dışlamaması gerekir. Dolayısıyla ekolojik açıdan sürdürülebilir ancak sosyal açıdan adaletsiz bir dönüşüm, refah devleti ve insan hakları açısından yeterli bir çözüm değildir.

4. TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, KENT-BÖLGELER VE TOPLUMSAL EŞİTSİZLİKLER

4.1. İklim Risklerinin Kent-Bölge Ölçeğinde Değerlendirilmesi

Türkiye, coğrafi konumu, iklimsel özellikleri ve sosyoekonomik yapısı nedeniyle iklim değişikliğinin etkilerine karşı önemli risklerle karşı karşıyadır. Kuraklık, su stresi, aşırı sıcaklar, seller, orman yangınları ve tarımsal üretimdeki değişimler, ülkenin farklı bölgelerinde farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır (World Bank, 2022). Ancak iklim risklerini yalnızca ulusal ölçekte değerlendirmek yeterli değildir. Türkiye'nin kent-bölgeleri ekonomik faaliyetleri, doğal varlıkları, altyapı koşulları, toplumsal yapıları ve kamusal hizmet kapasiteleri bakımından birbirinden farklılaşmaktadır.

Kent-bölge yaklaşımının önemli katkılarından biri, kenti yalnızca idari sınırları içinde ele almaz, onu çevresindeki kırsal alan ve ekonomik ve sosyal yönden çektiği diğer kent ve bölgelerle birlikte ele almasıdır. Kent merkezleri, çevre ilçeler, kırsal yerleşimler, tarım alanları, su havzaları, ulaşım ağları ve ekonomik ilişkiler birbirleriyle bağlantılıdır. Örneğin bir kent merkezinin su güvenliği, çevresindeki havzanın ekolojik durumuna bağlı olabilir. Kentin gıda tedariki, kırsal üretim alanlarındaki iklim koşullarından etkilenebilir. Kuraklık nedeniyle tarımsal gelirlerin azalması ise kentlere yönelik göçü, konut talebini ve sosyal hizmet ihtiyaçlarını etkileyebilir. İklim uyumu, yalnızca belediyelerin teknik altyapı yatırımlarına indirgenemeyecek ölçüde kapsamlı bir kent-bölge politikasıdır.

4.2. TÜBİTAK 1003 Araştırmasının Bulgularının İklim Uyumu Açısından Yeniden Değerlendirilmesi

Türkiye'nin farklı kent-bölgelerinde yaşam kalitesi, incinebilir grupların kente katılımı, kent hakkı ve sosyal hizmetler üzerine yürütülen TÜBİTAK 1003 araştırması, iklim uyumu açısından önemli bir değerlendirme zemini sunmaktadır (TÜBİTAK 1003 Raporu, 2023). Sonuçlarda çok kısa özetlersek, Konya örneğinde endüstriyel tarımın yüksek su tüketimi, yeraltı sularındaki azalma, kuraklık riski, hava kirliliği ve yeşil alanların kaybı öne çıkmaktadır. Bursa örneğinde hava kirliliği, yeşil alanların azalması dikkat çekmektedir. Gaziantep örneğinde ise ekonomik büyümenin farklı toplumsal grupların yaşam koşullarına eşit biçimde yansımadığı, yoksul mahallelerde barınma ve altyapı sorunlarının devam ettiği, yeşil alanlara erişimin sosyoekonomik konumla ilişkili olduğu görülmektedir. Bu örnekler, iklim değişikliğinin etkilerinin kent içinde eşitsiz dağılabileceğine, kent-bölgenin gelecekteki iklim uyum kapasitesi bakımından su yönetiminin, tarımsal üretim biçimlerinin ve doğal varlıkların korunmasının önemini göstermektedir. Kentlerin iklim değişikliğine dayanıklılığı yalnızca fiziksel altyapılarının niteliğine değil, toplumsal eşitsizliklerin düzeyine, doğal varlıkların korunmasına ve kamusal hizmetlerin erişilebilirliğine de bağlıdır.

5. SOSYAL HİZMET, ÇEVRESEL ADALET VE BUEN VIVIR

Sosyal hizmet mesleğinin temel yaklaşımlarından biri, bireylerin içinde yaşadıkları çevreyle birlikte değerlendirilmesidir. Bununla birlikte sosyal hizmetin tarihsel gelişiminde çevre kavramı büyük ölçüde aile, kurumlar, toplumsal ilişkiler ve sosyal sistemler üzerinden ele alınmıştır. Dominelli'nin (2012) Yeşil Sosyal Hizmet yaklaşımı, çevresel krizlerin toplumsal eşitsizliklerle ilişkisini ortaya koymakta ve sosyal hizmetin çevresel adalet alanında daha etkin bir rol üstlenmesi gerektiğini savunmaktadır. Vurkun ve Atasü-Topcuoğlu (2023), sosyal hizmetin çevre anlayışının fiziksel ve doğal çevreyi de kapsayacak biçimde genişletilmesi gerektiğini tartışmaktadır. Bu perspektiften sosyal hizmetin görevleri yalnızca afet sonrası

psikososyal destek ve kriz müdahalesiyle sınırlı değildir. Meslek, çevresel risklerin eşitsiz dağılımını görünür kılma, toplulukların karar süreçlerine katılımını destekleme, çevresel hakların savunuculuğunu yapma ve uzun vadeli sosyal politikaların geliştirilmesine katkıda bulunma sorumluluğunu da taşımaktadır.

Sosyal hizmetin ekolojik dönüşümüne ilişkin daha köklü tartışmalardan biri Buen Vivir, yani İyi Yaşam yaklaşımıdır. Latin Amerika'nın yerli topluluklarının düşünsel geleneklerinden beslenen Buen Vivir, refahı yalnızca bireysel gelir, tüketim ve ekonomik büyüme üzerinden tanımlamaz. Topluluk dayanışmasını, karşılıklılığı, kolektif iyiliği ve doğayla uyum içinde yaşamayı merkeze alır. Buen Vivir yaklaşımın insan-merkezci refah anlayışını sorgulama ve sosyal adaleti çevresel adalet ile doğanın haklarını da kapsayacak biçimde genişletme potansiyeli bulunmaktadır (Atasü-Topcuoğlu, 2024). Uluslararası Sosyal Hizmet Uzmanları Federasyonu, 2024 Küresel Gündem temasında Buen Vivir'i dönüştürücü değişim ve ortak gelecek arayışının bir çerçevesi olarak değerlendirmiştir (IFSW, 2024). Buen Vivir'in sosyal politika açısından önemi, refahın yalnızca dağıtımıyla değil, üretim biçimleri ve insan-doğa ilişkisiyle de ilgilenmesidir. Yerel dayanışma ekonomileri, müştereklerin korunması, kooperatifler, agroekoloji ve topluluk temelli üretim modelleri bu çerçevede değerlendirilebilir (Atasü-Topcuoğlu, 2024).

6. AGROEKOLOJİ: EKOLOJİK DÖNÜŞÜM, KIRSAL REFAH VE TOPLUMSAL GÜÇLENME

İklim değişikliğiyle mücadelede tarım ve gıda sistemleri önemli bir yere sahiptir. Tarımsal üretim iklim değişikliğinin etkilerinden zarar görmekte; aynı zamanda arazi kullanımı, su tüketimi, enerji kullanımı ve üretim biçimleri üzerinden ekolojik sistemlerle karşılıklı etkileşim içinde bulunmaktadır. Agroekoloji, bu ilişkileri yalnızca teknik üretim yöntemleri açısından değil, ekolojik, ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla birlikte ele alan zehirsiz tarım yaklaşımıdır. Agroekoloji, yalnızca kimyasal girdilerin azaltılması veya organik üretimin yaygınlaştırılması anlamına gelmemektedir. Toprak ve suyun korunması, biyolojik çeşitlilik, yerel bilgi, üretici-tüketici ilişkileri, küçük üreticilerin konumu ve gıda sistemlerinde karar verme süreçleri agroekolojik dönüşümün konularıdır.

Sosyal politika açısından agroekolojinin önemi, ekolojik dönüşümün geçim kaynakları, gelir dağılımı, kırsal toplulukların sürdürülebilirliği ve kadınların ekonomik güçlenmesiyle ilişkili olmasıdır. Bu yönüyle agroekoloji, Buen Vivir'in refahı toplulukların ve doğanın ortak iyiliği üzerinden yeniden düşünme çağrısıyla da ilişkilendirilebilir (Atasü-Topcuoğlu, 2024).

İnekci ve Atasü-Topcuoğlu (2025), Ankara'nın Güdül ilçesinde faaliyet gösteren Tahtacıörencik Doğal Yaşam Kolektifi'nde (TADYA) kadınların agroekolojik yaşama geçiş deneyimlerini incelemiştir. Araştırmanın önemli bulgularından biri, agroekolojik üretimin kadınların yalnızca ekonomik faaliyetlerini değil, toplumsal ilişkilerini ve kamusal alandaki konumlarını da etkileyebilmesidir. Üretim ilişkilerinin değişmesi, kamusal alana katılımın ve toplumsal cinsiyet ilişkilerinin dönüşmesine de katkıda bulunabilir. Araştırmada kadınların ekonomik bağımsızlıkları, kolektif kimlikleri, teknoloji kullanımları ve çevresel farkındalıkları bakımından güçlenme deneyimleri ortaya konmuştur.

Agroekoloji ile sosyal hizmet arasındaki ilişki birkaç düzeyde kurulabilir.

İlk olarak agroekoloji, kırsal toplulukların geçim kaynaklarını ve gıda üretim kapasitelerini güçlendirebilecek uygulamalar sunmaktadır. Bununla birlikte bu katkının düzeyi yerel ekolojik koşullara, üretim biçimlerine ve kurumsal desteklere bağlıdır. İkinci olarak agroekolojik örgütlenmeler, toplulukların kolektif eylem ve karar verme kapasitelerini geliştirebilir. Üçüncü olarak kadınların üretim, gelir elde etme ve kamusal katılım olanaklarının genişlemesine katkıda bulunabilir. Dördüncü olarak yerel bilgi, dayanışma ağları ve üretici-tüketici ilişkileri

aracılığıyla topluluk temelli dayanıklılığı destekleyebilir. Bu nedenle agroekoloji, sosyal hizmet açısından yalnızca çevre dostu üretim uygulaması değil; topluluk gelişimi, güçlenme, katılım ve kırsal sosyal politika alanlarıyla ilişkili bir dönüşüm potansiyeli olarak ele alınabilir.

7. SONUÇ

İklim değişikliği, ekolojik sistemler üzerindeki etkilerinin ötesinde, refah devletlerinin temel sorumluluklarını ve sosyal hizmetin mesleki yaklaşımlarını yeniden değerlendirmeyi gerektiren çok boyutlu bir krizdir.

İklim tehlikeleri toplumsal grupları eşit biçimde etkilememektedir. Gelir, konut, çalışma koşulları, sosyal güvenlik, sağlık hizmetleri, engellilik, toplumsal cinsiyet ve göçmenlik statüsü gibi etkenler, insanların iklim değişikliğine karşı korunma kapasitelerini belirlemektedir.

Bu nedenle iklim değişikliğine uyum, yalnızca çevresel tehlikelerin teknik olarak yönetilmesi anlamına gelmemektedir. Aynı zamanda mevcut toplumsal eşitsizliklerin azaltılmasını, sosyal hakların korunmasını ve insanların yaşamlarını sürdürebilme yapabilirliklerinin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Türkiye kent-bölgelerine ilişkin TÜBİTAK 1003 araştırması, kentsel dayanıklılığın sosyal adalet, kent hakkı, katılım, doğal varlıkların korunması ve yapabilirlikler üzerinden yeniden düşünülmesine olanak sağlamaktadır. Buen Vivir yaklaşımı, refahı ekonomik büyümenin ötesinde toplulukların ve ekosistemlerin ortak iyiliği üzerinden değerlendirmeye çağırmaktadır. TADYA araştırması ise agroekolojik dönüşümün üretim biçimleriyle birlikte kadınların ekonomik güçlenmesi, kamusal katılımı ve kolektif eylem kapasiteleri üzerinde de etkili olabileceğini göstermektedir.

Bu üç yaklaşım birlikte ele alındığında, iklim değişikliğine uyumun yalnızca mevcut toplumsal düzenin çevresel değişimlere uyarlanması olarak düşünülmemesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Asıl mesele, hangi toplumsal ilişkilerin, hangi üretim biçimlerinin ve hangi refah anlayışının sürdürülebilir olduğudur.

Türkiye'nin COP31 Başkanlığı, iklim adaletini sosyal politika, kent-bölge dayanıklılığı ve agroekolojik dönüşümle ilişkilendiren bir yaklaşımın uluslararası düzeyde tartışılması için önemli bir fırsat sunmaktadır. İklim krizine karşı başarılı bir politika yalnızca sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla değerlendirilmemelidir. şu sorulara da yanıt vermelidir: İklim krizi ile mücadele politikaları uygulanırken , Kimin kırılganlığı azaltılmıştır? Kimin sosyal haklara erişimi güçlendirilmiştir? Kimin yapabilirlikleri geliştirilmiştir? Kimler karar süreçlerine katılabilmiştir? İnsanların ve toplulukların doğayla birlikte iyi yaşayabilme koşulları ne ölçüde iyileştirilmiştir?

REFERENCES

Atasü-Topcuoğlu, R. (2024). Buen Vivir: İyi yaşam perspektifi ve sosyal hizmet mesleğine yansımaları. *Selçuk 11th International Conference on Social Sciences, Tam Metin Bildiriler Kitabı* (ss. 1697–1704). Academy Global Publishing House. https://www.selcukkongresi.org/_files/ugd/797a84_4700564811be4689aefa00f057ac2d19.pdf

Chancel, L. (2022). Global carbon inequality over 1990–2019. *Nature Sustainability, 5*, 931–938. https://doi.org/10.1038/s41893-022-00955-z

Dominelli, L. (2012). *Green social work: From environmental crises to environmental justice*. Polity Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

International Federation of Social Workers. (2024). *Global Agenda theme 4: Buen Vivir—Shared future for transformative change*. https://www.ifsw.org/global-agenda-theme-4-buen-

vivir-shared-future-for-transformative-change/
İnekci, R., ve Atasü-Topcuoğlu, R. (2025). The transition experiences of TADYA women to agroecological living. *OPUS Journal of Society Research, 22*(1), 156–169. https://doi.org/10.26466/opusjsr.1596471
United Nations. (2025). *COP30 closes with agreement to step up support for developing countries*. https://www.un.org/en/node/233806
United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *Paris Agreement*. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement
United Nations Framework Convention on Climate Change. (2026). *About COP31*. https://unfccc.int/cop31/about
Vurkun, S., & Atasü-Topcuoğlu, R. (2023). Ekolojik ve sosyal adaletin sağlanmasında makro uygulamalar. S. Koçak & A. İçağasıoğlu Çoban (Ed.), *Ekolojik krizlere disiplinlerarası yaklaşım ve sosyal hizmet uygulamaları* (ss. 163–177) içinde. Nika Yayınevi.
World Bank. (2022). *Türkiye country climate and development report*. https://www.worldbank.org/tr/brief/2022/06/13/key-highlights-country-climate-and-development-report-for-turkiye

KALP HASTALIKLARINDA BAKIM BAĞIMLILIĞI VE YAŞAM KALİTESİ: YAPAY ZEKA TABANLI ÇÖZÜMLER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR TARAMASI

Prof. Dr. Özlem CEYHAN
Erciyes University, Faculty of Health Science, Department of Internal Disease Nursing
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1869-8713
Doç. Dr. Betül ÖZEN
Erciyes University, Faculty of Health Science, Department of Public Health Nursing, Kayseri
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0499-3524

ÖZET
Kalp yetmezliği, koroner arter hastalığı ve aritmiler gibi kardiyovasküler hastalıklar, hastaların fiziksel kapasitelerini sınırlandırarak giyinme, yürüme ve banyo yapma gibi günlük yaşam aktivitelerinde başkalarına muhtaç olmalarına yol açar. Literatürde bakım bağımlılığı olarak adlandırılan bu durum, hastaların özerkliğini azaltarak yaşam kalitelerinin düşmesine neden olur. İleri evre kalp yetmezliğinde efor kapasitesinin azalması, koroner arter hastalarında kalp krizi geçirme korkusu ve aritmi hastalarında taşikardi endişesi, bireyleri sürekli bir bakım verenin gözetiminde yaşamaya mecbur bırakır. Özellikle bu hastalıklara bağlı tekrarlı hastaneye yatışlar bakım bağımlılığını artırır.
Günümüzde yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojileri, hastaların bakım bağımlılığını azaltmak ve yaşam kalitesini korumak adına çözümler sunmaktadır. Özellikle yapay zeka destekli sanal asistanlar ve sensörler ile hastalarda semptomları önceden fark etme, kişiselleştirilmiş öz yönetimlerini sağlama ve hasta eğitimini artırma özellikleri dikkat çekmektedir. Bu teknolojiler hastanın hastalık yönetimindeki rolünü güçlendirerek bir başkasına bağımlı olma durumunu azaltmakta ve yaşam kalitelerini desteklemektedir. Sonuç olarak, yapay zeka uygulamaları kalp hastalarının yönetimini bağımlı ve kısıtlayıcı bir yapıdan çıkarıp; otonom, bağımsız ve yüksek yaşam kalitesine sahip bir geleceğe taşımaktadır.
Bu derleme ile kardiyovasküler hastalıklarda hastaların karşı karşıya kaldığı bakım bağımlılığı durumunun son yıllarda hızla gelişen yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojileri ile nasıl gelişebileceğini literatür eşliğinde değerlendirmeyi amaçlayan bir anlatı derlemesidir.
Anahtar Kelimeler: Kalp hastalıkları, bakım bağımlılığı, yaşam kalitesi, yapay zeka

CARE DEPENDENCY AND QUALITY OF LIFE IN HEART DISEASES: A LITERATURE REVIEW ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED SOLUTIONS

ABSTRACT
Cardiovascular diseases, such as heart failure, coronary artery disease, and arrhythmias, limit patients' physical capacities, leading them to become dependent on others for activities of daily living such as dressing, walking, and bathing. Known in the literature as care dependency, this condition diminishes patient autonomy and causes a significant decline in quality of life. The reduction of exertion capacity in advanced heart failure, the fear of myocardial infarction in coronary artery disease, and anxiety regarding tachycardia in arrhythmia patients compel individuals to live under the constant supervision of a caregiver. Furthermore, recurrent hospitalizations associated with these conditions exacerbate care dependency.
Today, artificial intelligence and machine learning technologies offer promising solutions to mitigate care dependency and preserve patients' quality of life. Notably, AI-powered virtual assistants and sensors facilitate early symptom recognition, promote personalized self-

management, and enhance patient education. By empowering patients in their disease management, these technologies reduce the state of dependency on others and support their overall quality of life. Consequently, AI applications are transforming the management of cardiac patients from a restrictive and dependent structure into an autonomous, independent future characterized by a high quality of life.
This narrative review aims to evaluate, in light of current literature, how care dependency in cardiovascular patients can be managed and mitigated through rapidly evolving artificial intelligence and machine learning technologies.
Keywords: Heart diseases; care dependency; quality of life; artificial intelligence.

1. INTRODUCTION

Kalp yetmezliği (KY), koroner arter hastalığı (KAH) ve aritmiler gibi kardiyovasküler hastalıklar dünya genelinde önde gelen ölüm nedenlerindendir. Kardiyovasküler hastalıkların bu kadar önemli olmasının bir diğer nedeni, görülme sıklığı kadar bireyde hastalığa bağlı olarak gelişebilen fiziksel ve zihinsel sınırlılıkların hastaların bağımsızlığını azaltarak bağımlılık düzeyini artırmasıdır. Bu durum, hastaların yaşam kalitesini (YK) ciddi şekilde düşüren önemli faktörlerin başında gelir. Günümüzde yaşlanan nüfus ve sağlıksız yaşam tarzları nedeniyle bu hastalıkların yaygınlığının artmaya devam edeceği öngörülmekte ve yenilikçi uygulamalara yönelim artmaktadır (Addissouky ve ark., 2024; Dodiyi-Manuel ve Ajala, 2023; Gelekçi ve Efil, 2023).

Bu çalışma ile son yıllarda hızla gelişen yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojilerinin; hastaların bu hastalıklara bağlı otonomisini artırma süreçlerindeki rolünün literatür eşliğinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERIAL AND METHODS

Bu çalışma, kardiyovasküler hastalıklarda bakım bağımlılığı ve yaşam kalitesi durumlarını ortaya koymak ve yapay zeka ile bu hastalıkların önlenmesine yönelik gelişmeleri incelemek amacıyla yürütülen bir anlatı derlemesidir. Araştırma kapsamında literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kalp yetmezliği, koroner arter hastalığı ve aritmiler gibi kardiyovasküler tanılara sahip bireylerde bağımlılık durumunu ve yaşam kalitesini ele alan, son yıllara ait güncel makaleler, derlemeler ve klinik raporlar esas alınmıştır. Elde edilen literatür bulguları; hastalık türlerine göre bakım bağımlılığı, yaşam kalitesi ve bu süreçlerin yönetimine yönelik geliştirilen yapay zeka uygulamaları şeklinde sunulmuştur.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Bakım Bağımlılığı ve Yaşam Kalitesi

Kalp Yetmezliği (KY): İleri evre kalp yetmezliğinde, kalbin vücuda yeterli kan pompalayamaması aşırı yorgunluk ve nefes darlığına yol açmakta, efor kapasitesi azaldıkça hastalar bağımlı hale gelmektedir. Özellikle KY tedavisinde tam iyileşmenin olmaması ve tedavinin ömür boyu devam etmesi hastaneye tekrarlı yatışlara neden olmaktadır. Semptomlar ve tedaviyi yönetmek için hastalar yaşam şeklinde değişikliklere gitmekte, buna yeterli uyum sağlanmadığında bireylerin yaşam kaliteleri olumsuz etkilenmektedir (Doğu Kökcü ve Tiryaki, 2020; Shan ve ark., 2023). Baydemir ve ark. (2013) yaptığı çalışmada hastaların kalp yetmezliği evresi arttıkça özbakım güçlerinin azaldığı ve bu durumun gereksinimlerini karşılamada bağımlılık düzeylerinin artmasına neden olacağı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarda kalp yetersizliği olan hastaların en çok bağımlı olduğu alanların; hareket, hijyen, giyinme/soyunma ve günlük aktiviteler olduğu belirtilmiştir (Baydemir ve ark., 2013; Doğu Kökcü ve Tiryaki, 2020).

Koroner Arter Hastalığı (KAH): Koroner arter hastalıklarında anjina ya da kalp krizi sonrasında hastalık yönetiminin yapılamaması durumunda kalp kasının hasar görmesi hastanın fiziksel kapasitesinde düşmeye ve bakım bağımlılığına yol açabilir. Bu durum bireyin yaşamında pek çok fiziksel, psikolojik, sosyal ve ekonomik problemlere neden olabilir. Bu durum bireyin sağlığa uyumunu etkiler ve yaşam kalitelerini düşürebilir. Ayrıca hastalarda gelişen tekrar kalp krizi geçirme korkusu bireyleri fiziksel aktiviteden kısıtlar ve psikolojik olarak bakım verenlere bağımlı hale getirebilir (Shan ve ark., 2023; Tok Yıldız ve Kaşıkçı, 2018). Yapılan bir çalışmada bakım bağımlılığı az olan bireylerde tedaviye uyumun yüksek (%86,6) olduğu ve bu bireylerin çoğunun yüksek yaşam kalitesine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca bakım bağımlılığı ve ikincil korunmaya uyumun KAH hastalarında yaşam kalitesiyle anlamlı derecede ilişkili olduğu belirtilmiştir (Fernandez ve ark., 2025). Başka bir çalışmada kalp krizi sonrası yaşam tarzı değişiklikleriyle ilgili tıbbi önerilere uyan ve fiziksel aktivitelerini artıran kişilerde yaşam kalitelerinin daha iyi olduğu saptanmıştır (Dąbek ve ark., 2024).

Aritmiler: Ritim düzensizlikleri vücutta genel oksijen azlığına neden olarak kronik yorgunluk, halsizlik ve nefes darlığına yol açabilir. Bu durum hastanın banyo yapma, yemek yeme veya giyinme gibi temel öz bakım aktivitelerinde başkalarına bağımlı kalmasına neden olur. Ayrıca ani ritim değişiklikleri beyin kan akımını azaltarak baş dönmesi veya bayılma ataklarına sebep olabilir. Bu da düşme ve yaralanma riski nedeniyle hastayı hareket ederken veya dışarı çıkarken bir kişiye bağımlı hale getirebilir. Sürekli gözetim ihtiyacı hem hastanın hem de bakım verenin yaşam kalitesini olumsuz etkiler (Sandhaus ve ark., 2025; Srinivas ve ark., 2024). Atriyal fibrilasyonu olan hastalarla yapılan bir çalışmada AF'si olan bireylerin yaşam kalitelerinin sağlıklı bireylere veya diğer kardiyovasküler hastalıkları olanlara göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Özellikle kaygı ve semptom sıklığı/şiddetinin yaşam kalitesi ile önemli ölçüde ilişkili olduğu belirlenmiştir (Son ve ark., 2019).

Yapay Zeka (YZ) Gelişmeleri

Yapay zekâ, kardiyovasküler hastalıkların teşhisini, önlenmesini ve yönetimini iyileştirmek için çeşitli şekillerde uygulanmaktadır (Kulkarni ve ark., 2022). Bu yöntemlere ilişkin yapılan yenilikler aşağıda sunulmuştur.

Kalp ve Damar Sağlığı İçin En Yeni Giyilebilir Sensörler:

Kardiyovasküler hastalıkları izlemek için giyilebilir sensörler, fiziksel sensörler, gelişmiş görüntüleme teknolojisi ve biyokimyasal sensörler de dahil olmak üzere tasarlanmış çok çeşitli cihazları kapsar. Fiziksel sensörler, ışık yoğunluğu, elektriksel aktivite ve basınç gibi çeşitli sinyalleri elektrokardiyogramlara, oksijen doygunluk seviyeleri ve nabız hızlarına dönüştürür. Biyokimyasal sensörler, ter, tükürük ve gözyaşı da dahil olmak üzere çeşitli vücut sıvılarından kardiyovasküler hastalıkla ilgili bir dizi biyobelirteci tespit eder. Bu biyobelirteçler, kandaki glikoz seviyeleri, kolesterol konsantrasyonları, laktat düzeyi, kalp enzimleri ve inflamatuar medyatörleri kapsar. Özellikle esnek elektronik, minyatürleştirme ve kablosuz iletişim gibi öncü teknolojilerin kullanımı, cilt yamalarına veya akıllı giysilere sorunsuz bir şekilde entegre edilebilen giyilebilir sensörlerin ortaya çıkmasını kolaylaştırmıştır (Xie ve ark., 2025).

Bu gelişmiş sistemler sensörleri kullanarak, gerçek zamanlı veri izleme olanağı sağlar, anormalliklerin tespit edilmesini sağlar, hızlı bir şekilde zamanında uyarılar üretir ve izlem yapılmasını sağlar ve sonuçları kapsamlı analiz ederek kişiye özel müdahaleleri oluşturur. Bu yenilikler hastalık profilaksisi, tanı, tedavi, bakım ve sağlık yönetimi alanlarında önemli sonuçlar sağlar (Xie ve ark., 2025).

Kalp Yetmezliği ve Risk Sınıflandırması:

Kalp yetmezliği olan yoğun bakım hastalarında hastane içi ölüm oranının belirlenmesi için makine öğrenimine dayalı bir risk sınıflandırma aracı geliştiren Luo ve ark. (2022) 5.676

hastadan oluşan türetme veri seti kullanmışlardır. Çalışmada, geleneksel tahmin modelleri ve kritik hastalık skorlama sistemlerine kıyasla daha hassas bir risk tahmin modeli oluşturmak için XGBoost yöntemi kullanılmıştır. Makine öğrenimine dayalı model, hasta özelliklerinden 24 değişkeni risk faktörü olarak tanımlamıştır. Bunlardan anyon açığı yoğun bakım ünitesindeki kalp yetmezliği hastalarında ölümle en çok ilişkili olan değişken olarak tanımlanmıştır. Yaş, genel olarak ölümle ilişkili bulunmuş, Glasgow Koma Ölçeği puanları yoğun bakım hastalarında mortalitenin bir öngörücüsü olarak belirlenmiştir. Yoğun bakım ünitesine kabul sırasında trombosit sayısı ve PTT gibi kan pıhtılaşma durumu, kalp yetmezliği hastalarında hastane içi mortalite ile ilişkili bulunmuştur. İdrar çıkış hacmi de risk skorlamasında önemli bir belirleyici olarak saptanmıştır. Yine kan gazı oranlarından SpO2, SpCO2, anyon açıklığı ve arteriyel baz fazlalığı önemli değişkenler olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu risk tahmin modelinin klinisyenlere yoğun bakım ünitesindeki kalp yetmezliği hastalarını değerlendirmede ve kişiselleştirilmiş tedavi planları oluşturmada destek sağlayabileceği vurgulanmıştır (Luo ve ark., 2022).

Göğüs Ağrısında Risk Sınıflandırması:

Kardiyovasküler hastalıkların tespitinde acil yaklaşımların uygulanması oldukça önemlidir. Burada özellikle göğüs ağrısının hızla tespit edilmesi tedavi ve bakımın uygulanmasını kolaylaştırır. Bu çalışmada üçüncü basamak bir hastanenin acil servisine başvuran 15.048 hastadan oluşan retrospektif veriler kullanılarak kardiyovasküler tanıları tahmin etmek için bir sinir ağı sınıflandırıcısı ("Göğüs Ağrısı-Yapay Zeka" veya "CP-AI") eğitilmiştir. CP-AI'ye girdiler arasında yaş, cinsiyet, kardiyak biyobelirteçler (D-dimer veya troponin I veya T pozitifliği) ve başvuru anındaki 12 derivasyonlu EKG'lerin sayısal temsilleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, tamamen otomatikleştirilmiş bir sinir ağı sınıflandırıcısı olan CP-AI, akut göğüs ağrısı şikayetiyle başvuran hastalarda kardiyovasküler tanıların tahmininde geleneksel modellere kıyasla daha üstün performans göstermiştir. Bu sonuçlar ile acil servise göğüs ağrısı şikayetiyle başvuran hastaların risk sınıflandırmasının standartlaştırılması ve tanının hızlandırılması sağlanabilir (Haimovich ve ark., 2025).

Atriyal Fibrilasyon Tahmin Modeli:

Literatürde, erken müdahaleyi kolaylaştırmak amacıyla, önceden kardiyovasküler hastalık (KVH) öyküsü olmayan bireylerde ritim bozukluğunu tespit eden bir tahmin modeli bulunmamaktadır. Bu çalışmada ritim bozuklukları arasında sıklıkla görülen atriyal fibrilasyona (AF) yönelik rutin biyobelirteçlere dayalı makine öğrenme yöntemleri kullanılarak bir AF tahmin modeli geliştirilmiştir. Veriler, İsveç AMORIS (Apolipoprotein-Ölüm Riski) kohortunda yer alan ve 20 yıl boyunca atriyal fibrilasyon (AF) gelişimi açısından takip edilen 122.822 bireyden elde edilmiştir. Rastgele orman algoritması kullanılarak lipidler, karaciğer/böbrek belirteçleri, glukoz kontrolü ve inflamasyonu kapsayan 16 rutin biyobelirteçten AF tahmincileri belirlenmiştir. Bunlar yaş, albümin, ürik asit, trigliseritler, glukoz, alkalin fosfataz ve cinsiyettir. Sonuç olarak birinci basamak ve uzmanlık bakımında kolayca ulaşılabilir olan bu kan sonuçları ile kısa ve uzun vadeli AF riskini tahmin etmede kullanılabileceği öngörülmektedir (Ding ve ark., 2025).

Literatür kalp hastalıklarına ilişkin birçok tahmin modelinin üretildiğini, ancak bunların yalnızca küçük bir kısmının harici olarak test edildiğini göstermiştir. Modelin yalnızca türetme verilerine dayalı olarak değerlendirilmesi dikkatli bir yaklaşım gerektirse de, veri odaklı tahmin modelleri büyük miktarda tıbbi veriyi işleme konusunda umut vaat etmektedir (Błaziak ve ark., 2022).

KAH Hastalarında Öz-Yönetim (AI-HEALS):

Yapay zeka uygulamaları ile hastaların kendi tedavi ve bakımlarını yönetmelerini sağlamak için eğitim modülleri oluşturulması bağımlılığı azaltma ve yaşam kalitesini artırmada önemli uygulamalardandır. Bunlardan biri KAH'da perkütan girişim sonrası hastalarda öz sağlık yönetimini iyileştirmede "Yapay Zeka Tabanlı Sağlık Eğitimi Hassas Bağlantı Sistemi (AI-HEALS)"dir. AI-HEALS adı verilen yapay zeka tabanlı sağlık eğitim sistemi, hastaların kendi ilaç, diyet ve egzersiz takiplerini yaparak sağlık kurumu veya aile bireylerine olan bağımlılıklarını azaltmayı hedeflemiştir. YZ sistemi ile kendi hastalık yönetimini yapabilen hastaların yaşam kalitesinin ve GYA becerilerinin artacağı vurgulanmıştır (Li ve ark., 2026). Henüz ön çalışması yayınlanan bu modülün değerlendirmeleri devam etmektedir.

4. CONCLUSIONS

Mevcut literatür, yapay zekâ ve diğer yenilikçi yaklaşımların kardiyovasküler hastalıkların teşhisinde, tedavisinde ve yönetiminde uygulanmasına ilişkin çeşitli gelişmelerin yaşandığını göstermiştir. Bu son gelişmelerin çeşitli avantajları bulunmaktadır. Avantajları arasında yapay zekânın büyük miktarda tıbbi veriyi hızlı bir şekilde analiz edebilmesi, yapay zekâ destekli görüntüleme teknolojileri ile daha doğru ve ayrıntılı tanısal bilgiler sağlayarak sağlık profesyonellerinin daha bilinçli karar vermesini sağlaması, semptomlar ortaya çıkmadan önce kardiyovasküler sorunların erken teşhisine yardımcı olması ve kişiselleştirilmiş tedavi planları oluşturmaya olanak tanıyarak hedefli ve etkili bakımı mümkün kılmak yer almaktadır (Błaziak ve ark., 2022).

REFERENCES

Addissouky, T. A., El Tantawy El Sayed, I., Ali, M. M. A., Alubiady, M. H. S., & Wang, Y. (2024). Recent developments in the diagnosis, treatment, and management of cardiovascular diseases through artificial intelligence and other innovative approaches. Journal of Biomedical Research, 5(1), 29–40. https://doi.org/10.46439/biomedres.5.041

Baydemir, C., Özdamar, K., & Ünalır, A. (2013). Validity of the Turkish version of the European heart failure self-care behavior scale. Anadolu Kardiyoloji Dergisi, 13(6), 573–579. https://doi.org/10.5152/akd.2013.181

Błaziak, M., Urban, S., Wietrzyk, W., Jura, M., Iwanek, G., Stańczykiewicz, B., Kuliczkowski, W., Zymliński, R., Pondel, M., Berka, P., Danel, D., Biegus, J., & Siennicka, A. (2022). An Artificial Intelligence Approach to Guiding the Management of Heart Failure Patients Using Predictive Models: A Systematic Review. Biomedicines, 10(9), 2188. https://doi.org/10.3390/biomedicines10092188

Dąbek, J., Styczkiewicz, M., Kamiński, K., Kubica, A., Kosior, D. A., Wolfshaut-Wolak, R., Rajzer, M., Szynal, M., Jankowski, P., & Gąsior, Z. (2024). Quality of life in patients with coronary artery disease-multicenter POLASPIRE II study. Journal of Clinical Medicine, 13(13), 3630. https://doi.org/10.3390/jcm13133630

Ding, M., Murata, S., Louro, J., Hammar, N., & Modig, K. (2025). Machine-learning approach to atrial fibrillation prediction among individuals without prior cardiovascular diseases. Open Heart, 12(1), e003451. https://doi.org/10.1136/openhrt-2024-003451

Dodiyi-Manuel, S. T., & Ajala, A. O. (2023). Cardiovascular disease spectrum and mortality in the medical wards of University of Port-Harcourt Teaching Hospital: A 5-year review. International Journal of Tropical Disease & Health, 44(1), 40–49. https://doi.org/10.9734/ijtdh/2023/v44i1372

Doğu Kökcü, Ö., & Tiryaki, Ö. (2020). Kalp yetmezliği hastalarının öz bakım davranışları ve bakım gereksinimlerini karşılamada bağımsızlık durumlarının incelenmesi. Online Türk Sağlık Bilimleri Dergisi, 5(2), 364–374. https://doi.org/10.26453/otjhs.581600

Fernandez, G. V., Lampus, N. S., Wirawan, A. A., & Soares, A. (2025). Care dependence and adherence to secondary prevention: Their effects on quality of life among patients with coronary heart disease. Jurnal Keperawatan, 17(1), 45–56. https://doi.org/10.22219/jk.v17i1.36540

Gelekçi, E. Ö., & Efil, S. (2023). Care dependency in adults with chronic diseases. Gevher Nesibe Journal of Medical & Health Sciences, 8(4), 926–933.

Haimovich, J. S., Kolossváry, M., Alam, R., Padrós-Valls, R., Lu, M. T., & Aguirre, A. D. (2025). Risk stratification of chest pain in the emergency department using artificial intelligence applied to electrocardiograms. Open Heart, 12(1), e003343. https://doi.org/10.1136/openhrt-2025-003343

Kulkarni, P., Mahadevappa, M., & Chilakamarri, S. (2022). The emergence of artificial intelligence in cardiology: Current and future applications. Current Cardiology Reviews, 18(3), e191121198124. https://doi.org/10.2174/1573403X18666220505101655

Li, Y., Shan, M., Liu, M., Zhang, Y., Zhang, M., Qin, P., Zhao, X., & Li, Y. (2026). Effect of an artificial intelligence health education accurately linking system on self-management in young and middle-aged patients after percutaneous coronary intervention: A protocol. Frontiers in Cardiovascular Medicine, 13, 1879287. https://doi.org/10.3389/fcvm.2026.1879287

Luo, C., Zhu, Y., Zhu, Z., & et al. (2022). A machine learning-based risk stratification tool for in-hospital mortality of intensive care unit patients with heart failure. Journal of Translational Medicine, 20, 136. https://doi.org/10.1186/s12967-022-03340-8

Sandhaus, S., Faloon, C., Melis, F., Williams, M., & Tapanes, S. (2025). Arrhythmias. Life Extension Protocols. https://www.lifeextension.com/protocols/heart-circulatory/arrhythmias

Shan, Y., Chen, J., Zhou, S., & Wen, G. (2023). Nursing interventions and care strategies for patients with coronary heart disease: A comprehensive review. Galen Medical Journal, 12, e2994. https://doi.org/10.31661/gmj.v12i0.2994

Son, Y.-J., Baek, K.-H., Lee, S. J., & Seo, E. J. (2019). Health-related quality of life and associated factors in patients with atrial fibrillation: An integrative literature review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(17), 3042. https://doi.org/10.3390/ijerph16173042

Srinivas, S., Vignesh Rk, B., Ayinapudi, V. N., Govindarajan, A., Sundaram, S. S., & Priyathersini, N. (2024). Neurological consequences of cardiac arrhythmias: Relationship between stroke, cognitive decline, and heart rhythm disorders. Cureus, 16(3), e57159. https://doi.org/10.7759/cureus.57159

Tok Yıldız, F., & Kaşıkçı, M. (2018). Koroner arter hastalığı tanısı ile izlenen bireyin Orem'in öz bakım yetersizlik kuramı'na göre bakımı (Olgu sunumu). Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(3), 150–155.

Xie, H., Yang, L., Jiang, B., & et al. (2025). State-of-the-art wearable sensors for cardiovascular health: A review. npj Cardiovascular Health, 2, 53. https://doi.org/10.1038/s44325-025-00090-60090-6

ÖLÜMÜN FARKINDALIĞINDA UMUT: HEMŞİRELİK EĞİTİMİ AÇISINDAN KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

Doç. Dr. Betül ÖZEN
Erciyes University, Faculty of Health Science, Department of Public Health Nursing, Kayseri
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0499-3524
Prof. Dr. Özlem CEYHAN
Erciyes University, Faculty of Health Science, Department of Internal Disease Nursing
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1869-8713

ÖZET
Hemşirelik öğrencileri, eğitimleri sırasında ölüm ve kayıp gibi duygusal açıdan zorlayıcı durumlarla karşılaşabilmektedir. Bu deneyimler öğrencilerin ölümle ilgili düşüncelerini, mesleki yeterliliklerine ilişkin değerlendirmelerini ve geleceğe yönelik beklentilerini etkileyebilir. Ölüm farkındalığı çoğunlukla korku ve kaygıyla ilişkilendirilse de yaşamın önceliklerini ve kişisel değerleri yeniden düşünmeyi de beraberinde getirebilir. Umut ise bireyin güçlükler ve belirsizlikler karşısında amaçlarını sürdürebilmesiyle ilişkili önemli bir kavramdır. Bu derlemede, ölüm farkındalığı ve umut kavramları hemşirelik eğitimi açısından ele alınmış ve bu kavramların eğitim sürecinde nasıl değerlendirilebileceği tartışılmıştır.
Anlatı derlemesi olarak hazırlanan çalışmada, hemşirelik öğrencilerinin ölümle karşılaşma deneyimleri, hemşirelikte umut kavramı ve ölüm konusundaki eğitim yaklaşımlarını ele alan yayınlar incelenmiştir. Literatür, öğrencilerin hasta ölümü karşısında duygusal güçlükler yaşayabildiğini ve bu deneyimleri değerlendirebilmek için eğitimci desteğine gereksinim duyabildiğini göstermektedir. Ölüm üzerine grup tartışmaları, yansıtıcı öğrenme etkinlikleri ve klinik deneyimlerin ardından gerçekleştirilen değerlendirme görüşmeleri, öğrencilerin düşüncelerini paylaşmalarına olanak sağlayabilecek yaklaşımlar arasındadır. Bununla birlikte, bu uygulamaların umut üzerindeki etkisine ve ölüm farkındalığı ile umudun birlikte nasıl ele alınabileceğine ilişkin doğrudan kanıtlar sınırlıdır.
Hemşirelik eğitiminde ölüm konusunun yalnızca bakımın klinik yönleriyle sınırlandırılmaması, öğrencilerin duygusal deneyimlerine de yer verilmesi önemlidir. Umut kavramının bu süreçte değerlendirilmesi, öğrencilerin belirsizlikler karşısındaki beklentilerini ve mesleki amaçlarını anlamaya katkı sağlayabilir. Gelecekte, ölüm farkındalığı ve umudu birlikte ele alan eğitim uygulamalarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Ölüm farkındalığı, umut, hemşirelik öğrencileri, hemşirelik eğitimi.

HOPE IN THE AWARENESS OF DEATH: A CONCEPTUAL EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF NURSING EDUCATION

ABSTRACT
During their education, nursing students may encounter emotionally challenging situations, such as death and loss. These experiences can influence students' thoughts on death, their assessments of their own professional competence, and their expectations for the future. While death awareness is often associated with fear and anxiety, it can also prompt a re-evaluation of life priorities and personal values. Hope, meanwhile, is a significant concept linked to an individual's ability to pursue their goals in the face of difficulties and uncertainties. This review examines the concepts of death awareness and hope within the context of nursing education and discusses how these concepts might be addressed throughout the educational process.
Prepared as a narrative review, this study examines literature concerning nursing students'

experiences with death, the concept of hope in nursing, and educational approaches to the subject of death. The literature indicates that students may face emotional distress when encountering the death of a patient and may require support from educators to process these experiences. Group discussions on death, reflective learning activities, and debriefing sessions following clinical experiences are among the approaches that can enable students to share their thoughts. However, there is limited direct evidence regarding the impact of these practices on hope, or how death awareness and hope might be addressed in tandem.
In nursing education, it is important that the topic of death is not limited solely to the clinical aspects of care, but also encompasses the emotional experiences of students. Incorporating the concept of hope into this process can contribute to a better understanding of students' expectations and professional goals when faced with uncertainty. It is recommended that educational interventions addressing both death awareness and hope be developed and evaluated in the future.
Keywords: Death awareness, hope, nursing students, nursing education.

1. GİRİŞ

Hemşirelik eğitimi, öğrencilere bakım vermeye yönelik bilgi ve beceriler kazandırırken mesleğin duygusal açıdan zorlayıcı yönlerine de hazırlamayı amaçlar. Öğrenciler klinik uygulamalarda ağır hastalık, kayıp ve ölümle karşılaşabilmektedir. Özellikle bir hastanın ölümüne ilk kez tanıklık etmek, öğrencilerin kendilerini mesleki açıdan ne kadar hazır hissettiklerini sorgulamalarına neden olabilir. Yao ve ark. (2025) tarafından yapılan sistematik derlemede, hemşirelik öğrencilerinin ilk hasta ölümü deneyimlerinde üzüntü, çaresizlik ve belirsizlik gibi duygular yaşayabildikleri, bu süreçte eğitimcilerin ve klinik rehberlerin desteğine gereksinim duydukları bildirilmiştir.
Ölüm farkındalığı, kişinin yaşamın sonlu olduğunu bilmesi ve bu gerçeği kendi yaşamı açısından değerlendirmesidir. Ölümün farkında olmak, her zaman ölümden korkmak ya da kaygı duymak anlamına gelmez. Bazı bireylerde ölüm düşüncesi huzursuzluk yaratırken bazılarında yaşamda önem verilen konuları yeniden gözden geçirme isteği oluşturabilir. Hemşirelik öğrencileri açısından bu farkındalık, kişisel düşüncelerin yanı sıra hastalarla ve aileleriyle kurulacak iletişimi de ilgilendirir. Nitekim Fan ve ark. (2025), hemşirelik ve tıp öğrencileriyle yürüttükleri araştırmada, ölüm hakkında açıkça konuşmaya olanak sağlayan öğrenme ortamlarının öğrenciler tarafından yararlı bulunduğunu göstermiştir.
Umut da hemşirelik bakımında önemli bir yere sahiptir. Ancak umut yalnızca iyileşeceğine inanmak ya da her şeyin olumlu sonuçlanmasını beklemek değildir. Bireyin içinde bulunduğu koşullarda kendisi için değerli olan amaçları sürdürebilmesi ve geleceğe ilişkin olasılıkları değerlendirebilmesi de umutla ilişkilidir. Antunes ve ark. (2023), hemşirelikte umut kavramını inceledikleri derlemede, umudun bireyin yaşadığı deneyimlerden ve kişilerarası ilişkilerinden etkilenen çok boyutlu bir kavram olduğunu belirtmiştir. Bu yönüyle umut, yalnızca hastaların değil, bakım verme sorumluluğuna hazırlanan öğrencilerin deneyimleri açısından da değerlendirilebilir.
Ölüm farkındalığı ile umudun hemşirelik eğitiminde birlikte ele alınmasının önemli bir gerekçesi vardır. Öğrenciler ölümle karşılaştıklarında yalnızca hastaya nasıl bakım vereceklerini değil, bu deneyim karşısında kendi duygularıyla nasıl baş edeceklerini de düşünürler. Böyle bir durumda umut, yaşanan güçlüğü ortadan kaldıran bir duygu olarak değil, kişinin mesleki amaçlarını ve geleceğe ilişkin beklentilerini değerlendirmesiyle bağlantılı bir kavram olarak ele alınabilir. Bununla birlikte, ölüm farkındalığının umudu artırdığı veya

azalttığı yönünde genel bir sonuca varmak mümkün değildir. Bu iki kavramın hemşirelik öğrencilerinin deneyimleriyle nasıl ilişkilendiği daha fazla araştırılmalıdır.

Hemşirelik eğitiminde ölüm konusunun ele alınmasına yönelik farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan biri, öğrencilerin ölüm ve ölme süreci hakkındaki düşüncelerini paylaşabildikleri Death Café uygulamasıdır. Fan ve ark. (2025), bu yaklaşımın lisans eğitiminde kullanılabilirliğini incelemiş ve öğrencilerin ölümle ilgili konuları daha açık tartışmalarına olanak sağlayabileceğini bildirmiştir. Bunun yanında yansıtıcı öğrenme etkinlikleri ve klinik deneyimlerin ardından yapılan değerlendirme görüşmeleri de öğrencilerin yaşadıkları durumları anlamlandırmalarını destekleyebilir. Ancak bu uygulamaların umut üzerindeki etkileri henüz yeterince açıklığa kavuşmamıştır.

Bu derlemenin amacı, ölüm farkındalığı ve umut kavramlarını hemşirelik eğitimi açısından değerlendirmek, öğrencilerin ölümle ilgili deneyimlerine yönelik eğitim yaklaşımlarını incelemek ve bu iki kavramın eğitim sürecinde birlikte ele alınmasına ilişkin öneriler geliştirmektir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma, ölüm farkındalığı ve umut kavramlarını hemşirelik eğitimi açısından değerlendirmek amacıyla hazırlanmış bir anlatı derlemesidir. Anlatı derlemeleri, belirli bir konuyla ilgili araştırmaların bir arada ele alınmasına, bulguların farklı yönleriyle tartışılmasına ve mevcut bilgilerin değerlendirilmesine olanak sağlar (Green et al., 2006; Baethge et al., 2019). Derlemede hemşirelik öğrencilerinin ölümle karşılaşma deneyimleri, hemşirelikte umut kavramı ve ölüm konusunun eğitimde ele alınmasına yönelik araştırmalar incelenmiştir. Özellikle öğrencilerin ölüm karşısındaki duygusal tepkilerine, eğitimcilerin sağlayabileceği desteğe ve ölüm hakkında konuşmayı kolaylaştıran eğitim uygulamalarına odaklanılmıştır.

İncelenen yayınlar, ölüm farkındalığı ve umut kavramlarının açıklanması ile hemşirelik eğitimine yönelik önerilerin geliştirilmesi açısından değerlendirilmiştir. Çalışmaların bulguları ilgili konular çerçevesinde bir araya getirilerek tartışılmıştır. Bu derleme sistematik derleme veya meta-analiz niteliği taşımamaktadır.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Ölüm Farkındalığı ve Umut: Kavramsal Bir Bakış

Ölüm farkındalığı ve umut, ilk bakışta birbirinden uzak kavramlar gibi görünse de her ikisi de bireyin yaşamına ve geleceğine ilişkin düşünceleriyle bağlantılıdır. Ölümün kaçınılmaz olduğunu bilmek bazı kişilerde kaygı yaratırken bazılarında yaşamda önem verdikleri konuları yeniden düşünmelerine neden olabilir. Benzer şekilde umut da her şeyin iyi sonuçlanacağına inanmakla sınırlı değildir. Antunes ve ark. (2023), hemşirelikte umut kavramına ilişkin çalışmaların derlemesinde, umudun kişisel deneyimler ve kişilerarası ilişkilerle şekillenen, zaman içinde değişebilen bir kavram olduğunu belirtmiştir.

Hemşirelik öğrencileri açısından bu iki kavramın birlikte değerlendirilmesi önemlidir. Öğrenciler bir hastanın ölümüyle karşılaştıklarında hem yaşadıkları duygularla baş etmeye hem de bakım verme sorumluluklarını yerine getirmeye çalışırlar. Yao ve ark. (2025), öğrencilerin ilk hasta ölümü deneyimlerini inceledikleri sistematik derlemede, bu süreçte yaşanan duygusal güçlüklerin ve destek gereksinimlerinin öne çıktığını bildirmiştir. Dolayısıyla ölümle karşılaşma deneyiminin yalnızca klinik bakım açısından değil, öğrencinin kişisel ve mesleki hazırlığı açısından da ele alınması gerekir.

Bu noktada umut, ölüm karşısındaki üzüntüyü veya belirsizliği ortadan kaldıran bir duygu olarak düşünülmemelidir. Öğrencinin yaşadığı güçlüğe rağmen mesleki amaçlarını sürdürebilmesi, bakımın anlamı üzerinde düşünebilmesi ve gelecekte benzer durumlarla nasıl baş edeceğini değerlendirmesi umut kavramıyla ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, ölüm

farkındalığı ile umut arasındaki ilişkinin hemşirelik öğrencilerinde nasıl geliştiğini açıklayan doğrudan araştırma kanıtları sınırlıdır. Bu nedenle iki kavram arasındaki bağlantıyı kesin bir sonuç olarak değil, hemşirelik eğitiminde üzerinde durulabilecek bir konu olarak değerlendirmek daha uygundur.

3.2. Hemşirelik Eğitiminde Ölüm Farkındalığı ve Umuda Yönelik Yaklaşımlar

Hemşirelik öğrencilerinin ölümle ilgili konuları öğrenmeleri, yalnızca ölüm sürecindeki fiziksel bakımın anlatılmasıyla sınırlı kalmamalıdır. Öğrencilerin hastayla ve ailesiyle iletişim kurabilmeleri, kendi duygusal tepkilerini fark edebilmeleri ve klinik deneyimlerini değerlendirebilmeleri de eğitim sürecinin parçasıdır. Bu amaçla kullanılan yaklaşımlardan biri, ölüm hakkında açık ve yargılayıcı olmayan bir ortamda konuşulmasını sağlayan *Death Café* uygulamasıdır.

Fan ve ark. (2025), tıp ve hemşirelik öğrencilerinin Death Café uygulamasına ilişkin görüşlerini inceledikleri nitel araştırmada, bu yaklaşımın ölüm ve yaşam sonu bakım konularının tartışılmasını kolaylaştırabileceğini bildirmiştir. Uygulamanın dikkat çekici yönü, öğrencilerden belirli bir doğru yanıt beklenmemesi ve farklı düşüncelerin paylaşılmasına olanak sağlamasıdır. Bununla birlikte, çalışmada öğrencilerin görüşleri değerlendirilmiş olduğundan Death Café uygulamasının ölüm kaygısını azalttığı veya umudu artırdığı sonucuna ulaşılamaz. Bu tür etkilerin belirlenmesi için müdahale araştırmalarına gereksinim vardır.

Ölümle ilgili eğitimde üzerinde durulan bir diğer yaklaşım yansıtıcı öğrenmedir. Öğrencilerin karşılaştıkları klinik durumları yazılı olarak değerlendirmeleri veya küçük grup görüşmelerinde tartışmaları, deneyimlerini daha iyi anlamalarına yardımcı olabilir. Haynes ve Dingley (2024), hemşirelik öğrencileriyle yürüttükleri araştırmada yaşam sonu bakımına yönelik tartışma temelli bir eğitim uygulamasının öğrencilerin bilgi ve tutumları üzerindeki etkisini incelemiş ve uygulama sonrasında olumlu sonuçlar bildirmiştir. Thornton ve ark. (2025) ise hemşirelik eğitiminde yas deneyimlerinin yansıtıcı öğrenme yoluyla ele alınmasına odaklanmıştır. Bu çalışmalar, ölüm konusundaki eğitimin yalnızca bilgi aktarımına dayanmaması gerektiğini düşündürmektedir.

Klinik uygulamalarda hasta ölümüyle karşılaşan öğrencilerin desteklenmesi de önemlidir. Özellikle ilk ölüm deneyiminden sonra öğrencilerin ne hissettiklerini ve hangi konularda zorlandıklarını konuşabilecekleri bir ortam oluşturulabilir. Yao ve ark. (2025) tarafından yapılan derlemede, bu süreçte eğitimcilerden ve klinik rehberlerden alınan desteğin önemi vurgulanmıştır. Bu bulgu, ölümle karşılaşan öğrencilerin yaşadıkları güçlüklerin yalnızca bireysel baş etme becerilerine bırakılmaması gerektiğini göstermektedir. Klinik uygulama sonrasında yapılacak kısa değerlendirme görüşmeleri, öğrencilerin deneyimlerini paylaşmaları ve sonraki uygulamalara hazırlanmaları açısından değerlendirilebilir.

Bu eğitim yaklaşımlarında umut kavramına da yer verilebilir. Örneğin öğrencilerden, ölümle karşılaştıkları bir durumda kendileri için neyin zorlayıcı olduğunu, bakım vermeye ilişkin beklentilerinin nasıl değiştiğini ve mesleki sorumluluklarını sürdürmelerine nelerin yardımcı olabileceğini değerlendirmeleri istenebilir. Böyle bir tartışma, umut kavramını yalnızca olumlu düşünmekle ilişkilendirmek yerine, güçlükler karşısında amaçlarını ve mesleki yönelimlerini koruyabilme açısından ele almaya olanak sağlayabilir. Ancak bu önerinin, umut düzeyini geliştirdiği gösterilmiş bir eğitim müdahalesi olmadığını belirtmek gerekir.

Mevcut çalışmalar, hemşirelik öğrencilerinin ölümle ilgili düşüncelerini paylaşabilecekleri ve klinik deneyimlerini değerlendirebilecekleri öğrenme ortamlarının önemine işaret etmektedir. Buna karşılık, bu yaklaşımların ölüm farkındalığı ve umut üzerindeki etkilerini birlikte değerlendiren araştırmalar konusunda bilgi sınırlıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, öğrencilerin gereksinimlerine göre geliştirilen eğitim uygulamalarının hem ölümle ilgili

düşüncelerini hem de umut anlayışlarını nasıl etkilediğinin incelenmesi, hemşirelik eğitimine daha somut katkılar sağlayabilir.

4. CONCLUSIONS

Hemşirelik öğrencileri, ölümle ilk kez karşılaştıklarında yalnızca bakım verme sorumluluğuyla değil, kendi duygu ve düşünceleriyle de yüzleşirler. Bu nedenle ölüm konusundaki eğitimin klinik bilgiyle sınırlı kalmaması, öğrencilerin yaşadıkları deneyimleri konuşmalarına ve değerlendirmelerine de fırsat vermesi gerekir. Umut kavramı ise bu süreçte, öğrencilerin güçlükler karşısında mesleki amaçlarını nasıl sürdürdüklerini anlamak açısından ele alınabilir.

İncelenen çalışmalar, ölüm hakkında açık tartışmaların, yansıtıcı öğrenmenin ve eğitimci desteğinin öğrencilerin deneyimlerini değerlendirmelerinde yararlı olabileceğini göstermektedir. Ancak bu yaklaşımların umut üzerindeki etkisi henüz yeterince araştırılmamıştır. Ölüm farkındalığı ile umudu birlikte ele alan eğitim çalışmalarının yapılması, öğrencilerin bu deneyimlerde ne tür desteğe gereksinim duyduklarını daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

5. REFERENCES

Antunes, M., Laranjeira, C., Querido, A., & Charepe, Z. (2023). “What do we know about hope in nursing care?”: A synthesis of concept analysis studies. *Healthcare, 11*(20), Article 2739. https://doi.org/10.3390/healthcare11202739

Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA—A scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review, 4*, Article 5. https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8

Fan, J. W., Schmidt, L. T., Chua, M. M., Lee, G. L., Goh, L. H., Lo, C. H., Devi, M. K., & Ang, W. H. D. (2025). The utility and feasibility of incorporating death cafes in undergraduate education: A qualitative exploration of medical and nursing students' perspectives. *Nurse Education Today, 145*, Article 106502. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2024.106502

Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: Secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine, 5*(3), 101–117. https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6

Haynes, J. G., & Dingley, C. (2024). Effects of a discourse intervention on end-of-life knowledge and attitudes of Bachelor of Science in Nursing students. *Journal of Hospice & Palliative Nursing, 26*(3), 140–148. https://doi.org/10.1097/NJH.0000000000001014

Thornton, E., Moseley, L., Noll, K., & Lambert, A. W. (2025). Recognizing grace in grief through reflection in nursing education: A qualitative research study. *Journal of Hospice & Palliative Nursing, 27*(2), 81–86. https://doi.org/10.1097/NJH.0000000000001094

Yao, Y., Liu, M., Yuan, T., Xiao, J., Wang, N., Wang, Y., Zeng, F., & Zeng, Y. (2025). Understanding nursing students' first experience of patient death in clinical practice: A qualitative systematic review and meta-synthesis. *Nurse Education Today, 147*, Article 106599. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2025.106599

STM32 TABANLI BLDC MOTOR SÜRÜCÜLERİNDE ŞÖNT DİRENÇLE AKIM ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK DİJİTAL FİLTRELEME YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Buğra ER
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-3982-5654
Prof. Dr. Okan BİNGÖL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0001-9817-7266

ÖZET
Fırçasız doğru akım (BLDC) motor sürücülerinde şönt direnç kullanılarak gerçekleştirilen akım ölçümleri, inverter anahtarlamalarından ve ADC örnekleme koşullarından etkilenebilmektedir. Bu çalışmada, STM32F072CB mikrodenetleyici tabanlı, 24 V besleme gerilimine sahip ve altı adımlı komütasyon yöntemiyle çalışan bir BLDC motor sürücüsünde beş farklı dijital filtreleme yöntemi deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Üç fazlı MOSFET evirici 20 kHz PWM frekansında sürülmüş, 330 mΩ değerindeki düşük taraf şönt direnç üzerinden elde edilen akım ölçüm sinyali 12 bit ADC ile sayısallaştırılmıştır. Aynı ADC kanalından elde edilen verilere hareketli ortalama, IIR alçak geçiren, medyan, medyan+IIR ve skaler Kalman filtreleri uygulanmıştır. Hareketli ortalama filtresinde 10, medyan filtresinde ise beş örnek kullanılmış ve filtrelerin ayrık zamanlı denklemleri verilmiştir. Deneyler dört farklı akım düzeyinde gerçekleştirilmiş, yaklaşık 0,4 A ve 1,8 A çalışma noktalarına ait sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda medyan filtre çıkışında bazı ani değişimlerin daha belirgin olduğu, IIR, medyan+IIR ve Kalman filtrelerinin çıkışlarında ise çoğu bölgede daha düşük dalgalanmalar oluştuğu gözlenmiştir. Bulgular, aynı ölçüm verilerine uygulanan dijital filtrelerin farklı çıkış davranışları sergilediğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: BLDC motor sürücüsü, STM32F072CB, şönt direnç, akım ölçümü, dijital filtreleme, Kalman filtresi.

EXPERIMENTAL COMPARISON OF DIGITAL FILTERING METHODS FOR SHUNT RESISTOR-BASED CURRENT MEASUREMENT IN STM32-BASED BLDC MOTOR DRIVES

ABSTRACT
Current measurements obtained using shunt resistors in brushless DC (BLDC) motor drives are affected by inverter switching and analog-to-digital converter (ADC) sampling conditions. This study experimentally compares five digital filtering methods implemented on an STM32F072CB-based BLDC motor drive operating at 24 V with six-step commutation. The three-phase MOSFET inverter was operated at a PWM frequency of 20 kHz. The current signal measured across a 330 mΩ low-side shunt resistor was digitized using a 12-bit ADC. Five filtering methods, namely moving average, infinite impulse response (IIR) low-pass, median, median followed by IIR, and scalar Kalman filtering, were applied to data acquired from the same ADC channel. The moving average and median filters used window sizes of 10 and 5 samples, respectively. The discrete-time equations of the filters are also provided. Measurements were carried out at four current levels, with graphical results presented for operating points of approximately 0.4 A and 1.8 A. The median filter output showed more

pronounced abrupt variations in some intervals, while the IIR, median–IIR, and Kalman filters generally produced smoother outputs with smaller fluctuations. The results show that the five filtering methods exhibit different output characteristics when applied to the same current measurement data.

Keywords: BLDC motor drive, STM32F072CB, shunt resistor, current measurement, digital filtering, kalman filter.

1. GIRIŞ

BLDC motor sürücülerinde akım bilgisinin izlenmesi, motorun çalışma koşullarının değerlendirilmesi ve aşırı akım koruması açısından önemlidir. Şönt direnç üzerinden akım algılama, düşük maliyeti ve mikrodenetleyiciye kolay uyarlanabilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte düşük seviyeli şönt gerilimi, inverterin anahtarlama geçişlerinde oluşan geçici bileşenlerden ve baskı devre yerleşiminden etkilenebilmektedir. Dianov (2022), şönt tabanlı ölçüm devrelerinde yerleşim ve sinyal iletiminin ölçüm kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir.

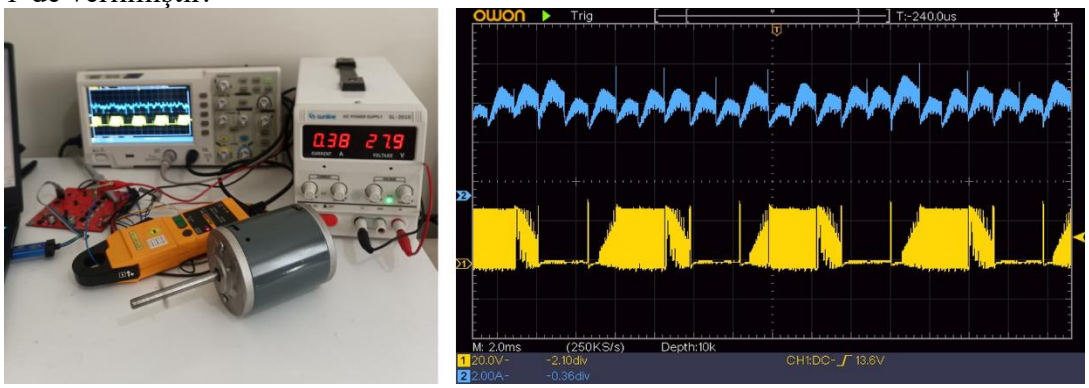
İnverterde ölçümün hangi akımı temsil ettiği, şöntün konumuna ve MOSFET anahtarlama durumlarına bağlıdır. Hwang ve ark. (2022), düşük gerilimli üç fazlı bir inverterde tek şönt üzerinden akım algılama yöntemini incelemiştir. Park ve Lee (2023), üç şönt kullanılan inverterlerde akımın örneklenebildiği iletim aralıklarının önemini göstermiş; Mitsui ve Iwaji (2023) ise tek şönt üzerinden akım yeniden oluşturma yöntemini ele almıştır. Bu çalışmalar, akım ölçümünde topoloji ve örnekleme zamanlamasının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ölçülen sinyaldeki değişimlerin azaltılması için hareketli ortalama ve IIR gibi alçak geçiren filtrelerin yanı sıra tekil sıçramalara farklı tepki veren medyan filtreler ve kestirim temelli Kalman filtresi kullanılabilir (Mitra, 2001; Welch & Bishop, 1995). Bu bildiride motor kontrol algoritması değiştirilmeden, aynı şönt akım verisine uygulanan beş filtre yönteminin deneysel çıkışları karşılaştırılmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Deney düzeneği ve akım ölçümü

Deney platformu, STM32F072CB mikrodenetleyicisi, IR2106 kapı sürücüleri ve MOSFET tabanlı üç fazlı inverterden oluşmaktadır. Motor altı adımlı komütasyonla sürülmüş, 24 V DC besleme altında 20 kHz PWM uygulanmıştır. Deneyde bildirilen PWM görev oranı yaklaşık %80, motor hızı yaklaşık 3000 dev/dak düzeyindedir. Ölçüm için düşük taraf şönt direnç, analog filtreleme ve 12 bit ADC kullanılmış; örnekler DMA üzerinden işlenerek filtre çıkışları STMStudio ile kaydedilmiştir. Sistem özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği ve BLDC sürücüsüne ait faz gerilimi (sarı) ile faz akımı (mavi) osiloskop görüntüsü.

Tablo 1. Deneysel sistemin teknik özellikleri ve çalışma koşulları.

Parametre	**Değer**
Mikrodenetleyici ve sürücü	STM32F072CB; IR2106; üç fazlı MOSFET inverter
Motor kontrolü / besleme	Altı adımlı komütasyon; 24 V DC
PWM / motor hızı	20 kHz; yaklaşık %80; yaklaşık 3000 dev/dak
Şönt direnç	330 mΩ; ±%1; 4 W; düşük taraf bağlantısı
ADC / veri edinimi	12 bit, 3,3 V; 55,5 ADC saat çevrimi; DMA
Analog filtre / çıkış güncellemesi	100 nF – 1 kΩ – 100 nF; 10 ms (TIM3, 100 Hz)
Veri izleme	STMStudio

2.2. ADC örnekleme ve sayısal filtreler

Şönt gerilimi ile üzerinden geçen akım arasında $V_{şönt} = I_{şönt} \cdot R_{şönt}$ bağıntısı vardır. Bu uygulamada $R_{şönt} = 0{,}330\ \Omega$ ile çalışılmıştır. PWM frekansı 20 kHz olduğundan anahtarlama periyodu 50 µs'dir. ADC için belirtilen 55,5 saat çevrimi ise örnekleme süresini tanımlamakta, tek başına ADC örnekleme frekansını vermemektedir. Kaynak belgede ADC'nin zamanlayıcı ile tetiklendiği ve DMA sürekli çalışma düzeninin kullanıldığı belirtilmektedir. ADC dönüşüm hızı ile 10 ms'lik filtre çıkış güncelleme periyodu ayrı parametrelerdir; tetikleme ve aktarım düzeni yazılım yapılandırmasıyla belirlenir (STMicroelectronics, 2022).

Karşılaştırılan filtrelerin temel matematiksel ifadeleri Tablo 2'de sunulmuştur. Burada $x[k]$ giriş ölçümünü, $y[k]$ filtre çıkışını ve k örnek indisini göstermektedir. Birinci dereceden IIR için α filtre ağırlığıdır; medyan+IIR yapısında medyan sonucu IIR girişine uygulanır.

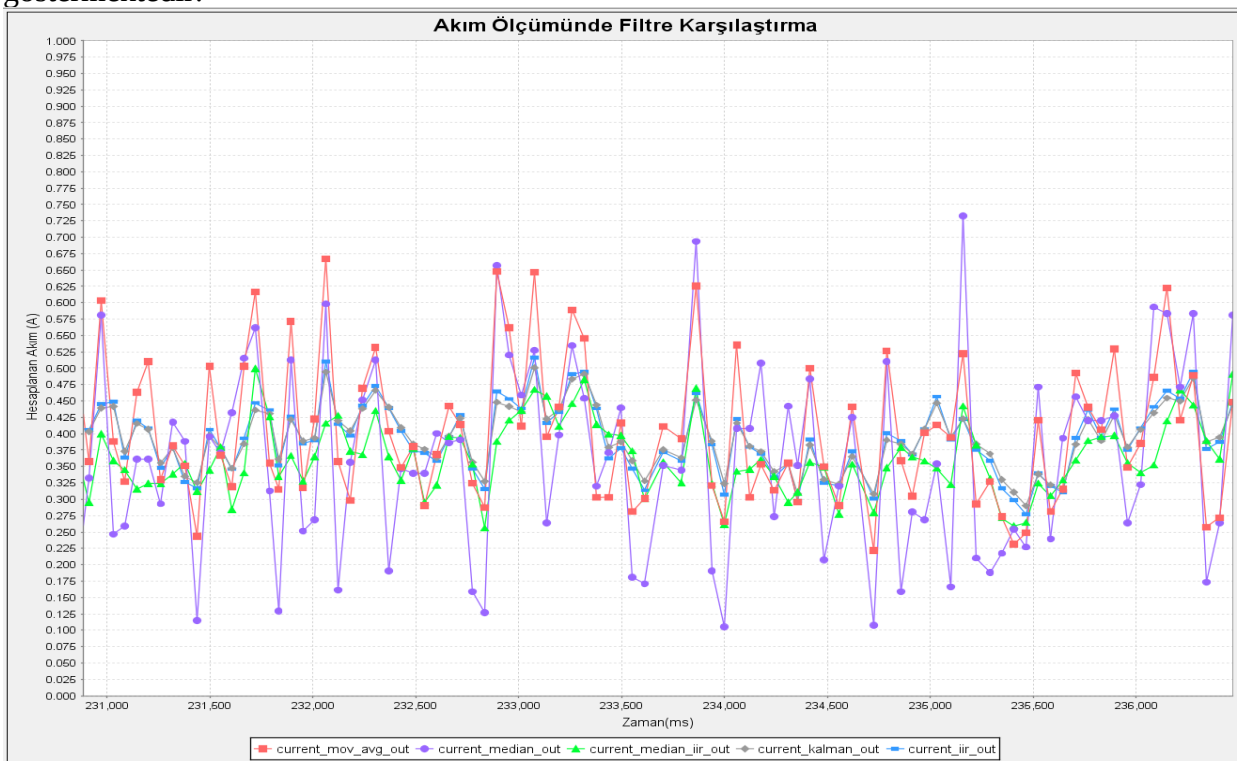
Tablo 2. Kullanılan dijital filtrelerin temel bağıntıları.

Yöntem	**Ayrık zamanlı gösterim**
Hareketli ortalama	$y[k] = (1/5)\ \Sigma_{i=0}^{4}\ x[k-i]$
IIR alçak geçiren	$y[k] = \alpha x[k] + (1-\alpha)y[k-1]$
Medyan	$y[k] = \text{medyan}\{x[k], x[k-1], x[k-2]\}$
Medyan + IIR	$z[k] = \text{medyan}\{x[k], x[k-1], x[k-2]\};\ y[k] = \alpha z[k] + (1-\alpha)y[k-1]$
Kalman	$K[k] = P^{-}[k]/(P^{-}[k]+R);\ \hat{x}[k] = \hat{x}^{-}[k]+K[k](x[k]-\hat{x}^{-}[k])$

Kalman filtresinin tek durumlu gösteriminde öngörü kovaryansı $P^{-}[k] = P[k-1] + Q$, güncellenmiş kovaryans ise $P[k] = (1-K[k])P^{-}[k]$ olarak hesaplanır. Q ve R sırasıyla süreç ve ölçüm gürültüsü kovaryanslarıdır (Welch & Bishop, 1995).

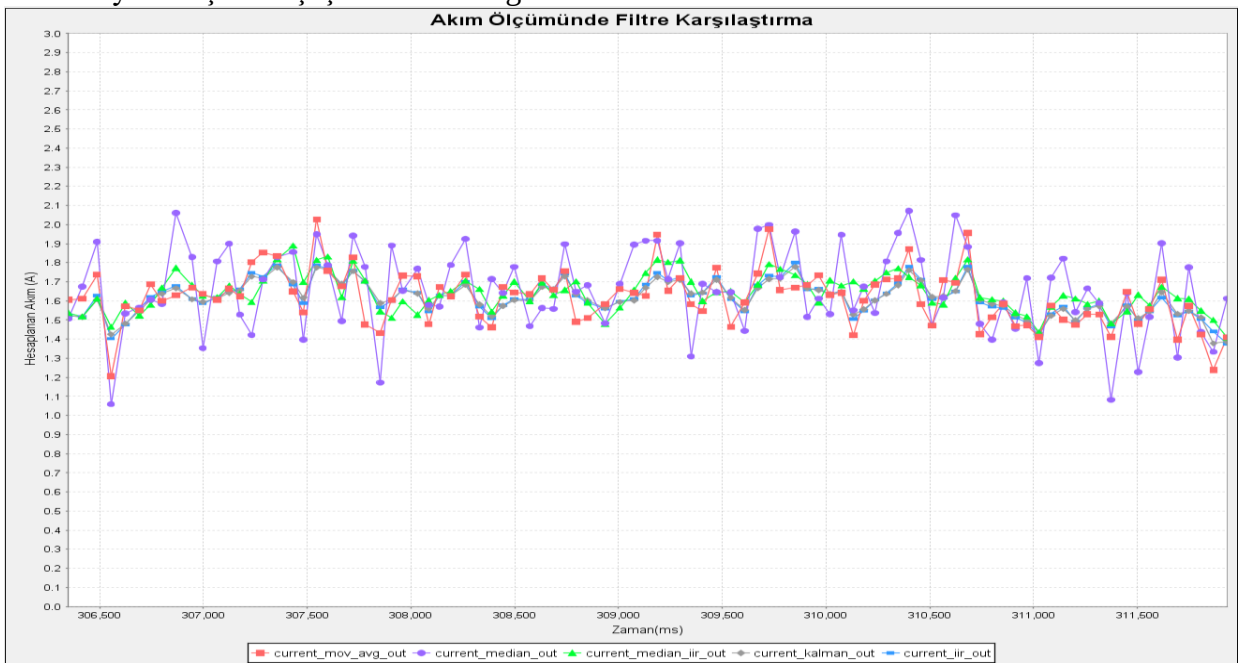
2.3. Deneysel filtre çıkışları

Filtre çıkışları yaklaşık 0,4 A ve 1,8 A olarak belirtilen iki çalışma noktasında karşılaştırılmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3, aynı akım verisine uygulanan beş filtrenin kaydedilmiş çıkışlarını göstermektedir.



Şekil 2. Yaklaşık 0,4 A çalışma noktasında filtre çıkışları.

Şekil 2'de yaklaşık 0,4 A düzeyinde IIR ve Kalman çıkışlarının birbirine yakın değiştiği, medyan+IIR çıktısının da çoğu bölgede bu eğilimi izlediği görülmektedir. Medyan filtresinde bazı ani yükseliş ve düşüşler daha belirgindir.



Şekil 3. Yaklaşık 1,8 A çalışma noktasında filtre çıkışları.

Şekil 3'te daha yüksek akım düzeyinde Kalman, IIR ve medyan+IIR çıkışları benzer bir genel eğilim sergilerken medyan filtresindeki örnekten örneğe değişimler görece büyüktür. Hareketli ortalama çıkışında da kimi anlarda daha belirgin sapmalar bulunmaktadır. Dolayısıyla karşılaştırma, yalnızca belirli bir filtrenin iyi olduğuna yönelik tekil bir sıralama değil, filtrelerin aynı giriş için farklı dalgalanma özelliklerine sahip olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

3. SONUÇ

STM32F072CB tabanlı BLDC motor sürücüsünde beş dijital filtre, iki farklı akım çalışma noktasında deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Medyan filtresinde bazı çalışma noktalarında ani çıkış değişimleri belirginleşirken IIR, medyan+IIR ve Kalman filtreleri genel olarak daha sınırlı dalgalanma göstermiştir. Böylece filtrelerin aynı ölçüm verisi üzerinde farklı çıkış özellikleri sergilediği ortaya konmuştur. Mevcut grafikler doğruluk, gecikme veya işlemci yükü açısından kesin bir yöntem sıralaması için yeterli değildir. Sonraki çalışmalarda ham veri üzerinden ortalama ve standart sapma hesaplanması, referans akımla karşılaştırma yapılması ve filtrelerin dinamik tepkilerinin ölçülmesi uygun olacaktır.

KAYNAKÇA

Dianov, A. (2022). Recommendations and typical errors in design of power converter PCBs with shunt sensors. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 3, 329–338. https://doi.org/10.1109/OJIES.2022.3179705

Hwang, J.-Y., Park, J.-H., Choi, J.-H., Uhm, J.-I., Lee, G.-H., & Lim, H.-S. (2022). A precise current detection method using a single shunt and FET Rds(on) of a low-voltage three-phase inverter. Electronics, 11(1), Article 9. https://doi.org/10.3390/electronics11010009

Mitra, S. K. (2001). Digital signal processing: A computer-based approach (2nd ed.). McGraw-Hill.

Mitsui, T., & Iwaji, Y. (2023). Motor current reconstruction method using single shunt resistance by high-frequency voltage injection. IEEJ Journal of Industry Applications, 12(4), 676–681. https://doi.org/10.1541/ieejjia.22007800

Park, J., & Lee, D.-H. (2023). A simple current sensing and reconstruction scheme of VSI with three shunt resistors. Journal of Electrical Engineering & Technology, 18(1), 291–298. https://doi.org/10.1007/s42835-022-01316-8

STMicroelectronics. (2022). STM32F0x1/STM32F0x2/STM32F0x8 advanced Arm-based 32-bit MCUs (Reference manual RM0091, Rev. 10). https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031936.pdf

Welch, G., & Bishop, G. (1995). An introduction to the Kalman filter (Technical Report TR 95-041). University of North Carolina at Chapel Hill.

24 V OTOMOTİV SİSTEMLERİ İÇİN Si VE GaN TABANLI SENKRON BUCK DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN LTspice İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Buğra ER
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-3982-5654
Prof. Dr. Okan BİNGÖL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0001-9817-7266

ÖZET
24 V otomotiv elektrik sistemlerinde kullanılan DC/DC dönüştürücülerin anahtarlama davranışları, çıkış gerilimi ve elektromanyetik girişim (EMI) özellikleri devre tasarımında dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Bu çalışmada, Si MOSFET ve GaN FET kullanılan iki senkron Buck dönüştürücü LTspice ortamında modellenerek karşılaştırılmıştır. Si tabanlı devrede BSC016N04LS MOSFET ve LT1160 sürücü, GaN tabanlı devrede ise EPC2204 FET ve LT8418 sürücü kullanılmıştır. Her iki devre 24 V giriş gerilimi, 3 Ω direnç yükü ve 100 kHz anahtarlama frekansı altında incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarında yaklaşık 12 V çıkış gerilimi elde edilmiş, buna karşılık yük akımı yaklaşık 4 A ve çıkış gücü 48 W olarak hesaplanmıştır. Başlangıç davranışları incelendiğinde Si tabanlı devrenin yaklaşık 0,8–0,9 ms, GaN tabanlı devrenin ise 0,9–1,0 ms aralığında kararlı çıkış seviyesine yaklaştığı görülmüştür. Ayrıca her iki devrenin üst ve alt anahtar sürme sinyalleri incelenmiş, giriş hattına eklenen LISN modeli üzerinden alınan gerilim verilerine hızlı Fourier dönüşümü (FFT) uygulanmıştır. Elde edilen frekans spektrumlarında iki devre arasında bazı farklılıklar gözlenmiştir. Ancak kullanılan sürücü devreleri de farklı olduğundan, bu sonuçlar yalnızca yarı iletken teknolojisine bağlı olarak değerlendirilmemiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, farklı yarı iletken ve sürücü kombinasyonlarının çıkış gerilimi ve frekans spektrumu üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. LISN ve FFT analizleri yalnızca simülasyon ortamında karşılaştırma yapmak amacıyla gerçekleştirilmiş olup CISPR 25 veya UN ECE R10 standartlarına göre bir uygunluk testi yapılmamıştır.
Anahtar kelimeler: Senkron Buck dönüştürücü, Si MOSFET, GaN FET, LTspice, LISN, Elektromanyetik girişim.

LTspice-BASED COMPARISON OF Si- AND GaN-BASED SYNCHRONOUS BUCK CONVERTERS FOR 24 V AUTOMOTIVE SYSTEMS

ABSTRACT
The switching behavior, output voltage characteristics, and electromagnetic interference (EMI) of DC/DC converters used in 24 V automotive electrical systems are important factors in circuit design. In this study, two synchronous Buck converters using Si MOSFETs and GaN FETs were modeled and compared in LTspice. The Si-based circuit employed a BSC016N04LS MOSFET and an LT1160 gate driver, while the GaN-based circuit used an EPC2204 FET and an LT8418 gate driver. Both circuits were evaluated with a 24 V input voltage, a 3 Ω resistive load, and a switching frequency of 100 kHz. The simulation results showed an output voltage of approximately 12 V, corresponding to a load current of about 4 A and an output power of 48 W. Examination of the startup waveforms showed that the Si-based circuit approached its

steady-state output level within approximately 0.8–0.9 ms, while the GaN-based circuit reached a similar level within approximately 0.9–1.0 ms. The high-side and low-side gate drive signals of both circuits were also examined. In addition, a fast Fourier transform (FFT) was applied to the voltage data obtained from the LISN model connected to the input line. Some differences were observed between the frequency spectra of the two circuits. However, since different gate drivers were used, these differences were not attributed solely to the semiconductor technologies. The results indicate that the effects of different semiconductor devices and gate driver combinations on output voltage and frequency spectra should be considered together. The LISN and FFT analyses were performed only for comparison in the simulation environment, and no compliance testing was conducted according to CISPR 25 or UN ECE R10 standards.

Keywords: Synchronous Buck converter, Si MOSFET, GaN FET, LTspice, LISN, Electromagnetic interference.

1. GİRİŞ

24 V araç elektrik sistemlerinde kontrol üniteleri, aydınlatma ve yardımcı elektronikler için düzenlenmiş düşük gerilim hatlarına ihtiyaç duyulur. Bu beslemelerde kullanılan senkron Buck dönüştürücülerin anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişim (EMI) davranışı, güç anahtarı kadar sürücü, devre yerleşimi ve parazitik elemanlarla da ilişkilidir (Erickson & Maksimović, 2020; Ott, 2009).

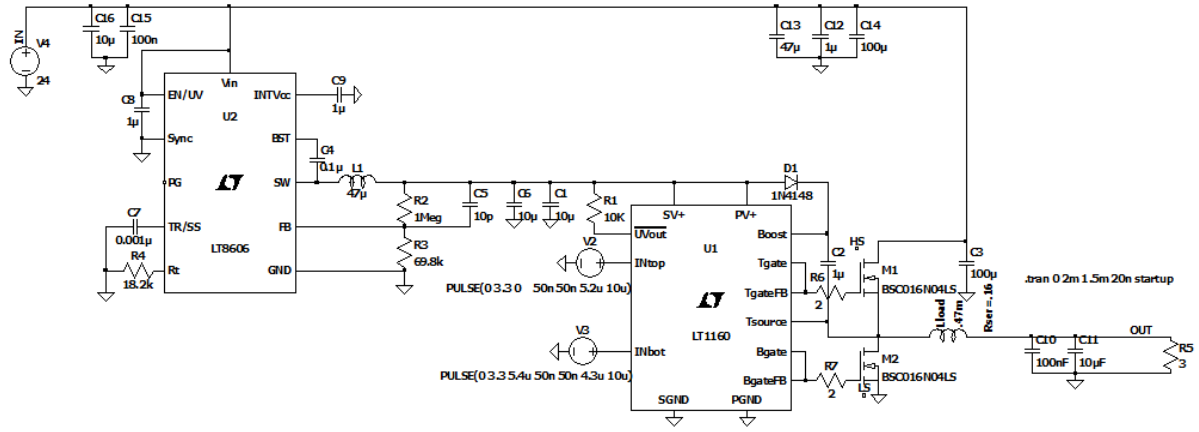
GaN FET'ler düşük gate yükleri ve yüksek anahtarlama hızlarıyla Si MOSFET'lere alternatif oluşturur. Ancak hızlı anahtarlama geçişleri, özellikle akım çevrimleri ve parazitik kuplaj üzerinden iletken emisyon spektrumunu etkileyebilir. Jones vd. (2016) GaN dönüştürücülerde sürücü ve tasarım koşullarının önemini; Bhargava vd. (2011) Buck dönüştürücülerde PCB yerleşiminin EMI üzerindeki etkisini; Jia vd. (2024) ise parazitik elemanların girişim yayılımındaki rolünü ele almıştır.

Bu çalışmada 24 V girişten yaklaşık 12 V elde eden iki senkron Buck mimarisinin başlangıç, anahtarlama ve giriş hattı spektrumları aynı nominal çalışma koşullarında karşılaştırılmıştır. Değiştirilen bileşenler hem güç anahtarı hem de gate sürücüsü olduğundan bulgular, yalnızca yarı iletken malzemesinin etkisi olarak ele alınmamıştır.

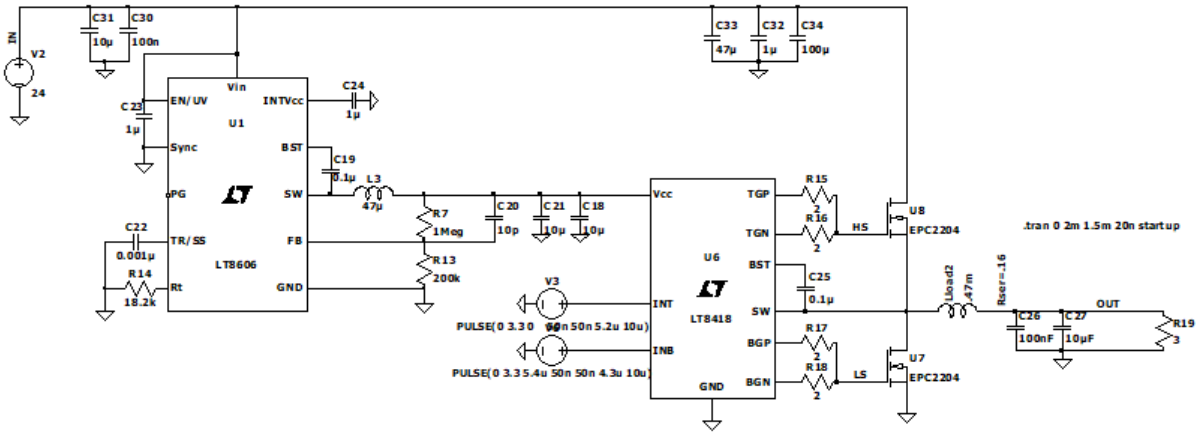
2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Devre yapıları ve eleman seçimi

Si devresinde LT1160 sürücüsü ve BSC016N04LS MOSFET'ler, GaN devresinde LT8418 sürücüsü ve EPC2204 FET'ler kullanılmıştır. FET sürücü beslemeleri LT8606 katından üretilmektedir. LTspice şemaları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Si MOSFET tabanlı senkron Buck devresi.



Şekil 2. GaN FET tabanlı senkron Buck devresi.

Seçilen güç anahtarlarının katalog değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Nominal gerilim, iletim direnci ve gate yükünün yanı sıra sürme gerilimlerinin de farklı olması, bu değerlerden doğrudan bir verim üstünlüğü çıkarılmasını sınırlandırır (Efficient Power Conversion, 2024; Infineon Technologies, 2020).

Tablo 1. Güç anahtarlarının ve sürücülerin temel özellikleri.

Özellik	Si MOSFET	GaN FET
Güç anahtarı	BSC016N04LS	EPC2204
Gate sürücüsü	LT1160	LT8418
Azami VDS	40 V	100 V
Azami RDS(on)	1,6 mΩ (VGS = 10 V)	6 mΩ (VGS = 5 V)
Tipik gate yükü QG	113 nC (VGS = 10 V)	5,7 nC (VGS = 5 V)
Sürücü beslemesi	Yaklaşık 12 V	Yaklaşık 5 V

2.2. Simülasyon parametreleri

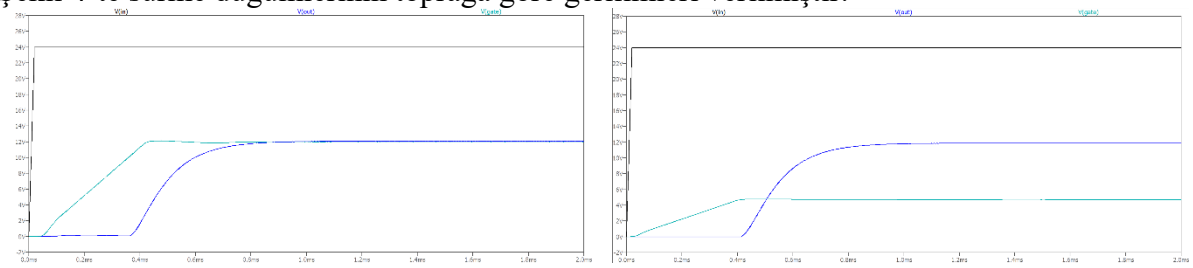
Her iki dönüştürücü 24 V DC giriş, 3 Ω direnç yükü ve 10 µs anahtarlama periyoduyla modellenmiştir. İdeal sürekli iletim durumunda Vout = D·Vin bağıntısından 12 V çıkış için D = 0,5 elde edilir. Yük akımı Iout = Vout/R = 4 A, çıkış gücü ise Pout = Vout·Iout = 48 W olarak hesaplanır (Erickson & Maksimović, 2020).

Tablo 2. Ortak çalışma koşulları ve simülasyon ayarları.

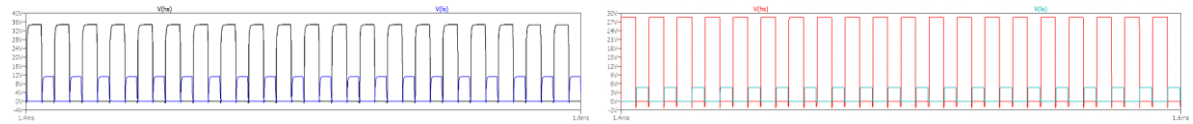
Parametre	Si ve GaN devreleri
Giriş / hedef çıkış gerilimi	24 V / yaklaşık 12 V
Yük / hesaplanan çıkış gücü	3 Ω / yaklaşık 48 W
Anahtarlama frekansı / periyodu	100 kHz / 10 µs
Çıkış endüktansı	470 µH
Çıkış kapasitörleri	10 µF + 100 nF
Lojik PWM seviyesi	0–3,3 V
Toplam transient süresi / kayıt başlangıcı	2 ms / 1,5 ms
Maksimum zaman adımı	20 ns

2.3. Başlangıç ve anahtarlama davranışı

Şekil 3'te iki çıkışın yaklaşık 12 V'a ulaştığı görülmektedir. Kararlı seviyeye yaklaşma süresi Si için 0,8–0,9 ms, GaN için 0,9–1,0 ms olup değerler grafik üzerinden yaklaşık okunmuştur. Şekil 4'te sürme düğümlerinin toprağa göre gerilimleri verilmiştir.



Şekil 3. Çıkış geriliminin başlangıç davranışı: (a) Si, (b) GaN.



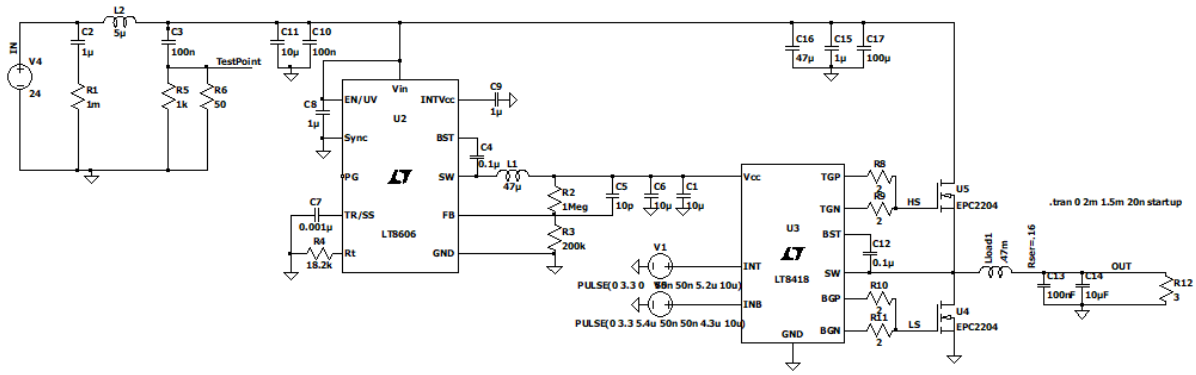
Şekil 4. Sürme düğümlerindeki gerilimler: (a) Si, (b) GaN.

Tablo 3. Mevcut gerilim grafiklerinden çıkarılan sonuçlar.

Ölçüt	Si MOSFET	GaN FET
Çıkış gerilimi	12 V	12 V
Hesaplanan yük akımı	4 A	4 A
Hesaplanan çıkış gücü	48 W	48 W
Kararlı seviyeye yaklaşma	0,8–0,9 ms	0,9–1,0 ms

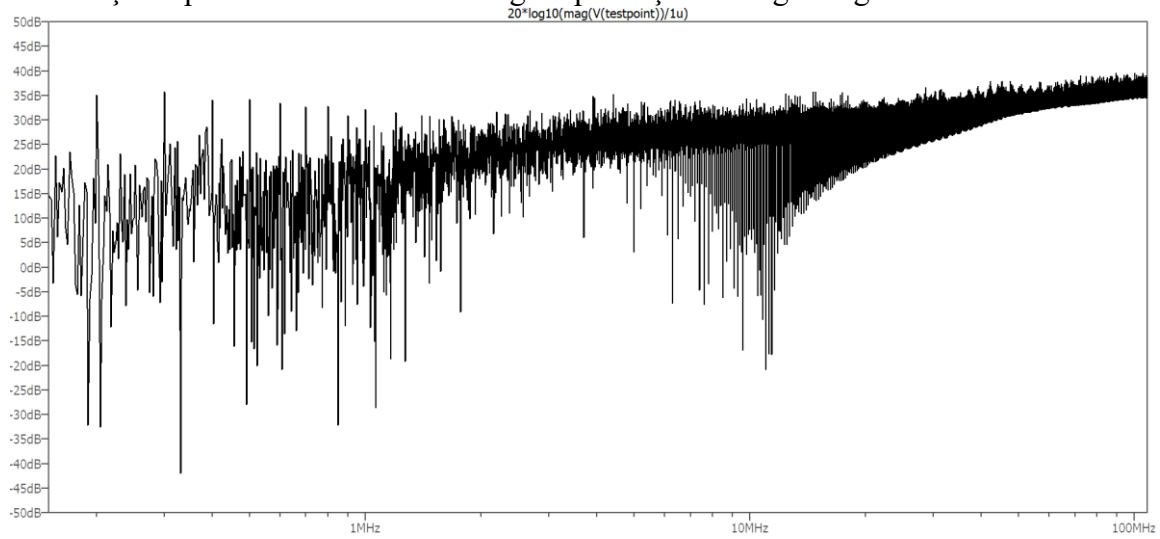
2.4. LISN ve iletken emisyon spektrumu

Giriş hattındaki iletken emisyon davranışını incelemek için 5 µH seri endüktans, 1 µF ve 100 nF kapasitörler ile 1 mΩ, 1 kΩ ve 50 Ω dirençlerden oluşan LISN tabanlı model kurulmuştur. Her iki dönüştürücü için TestPoint düğümündeki gerilim alınmış ve FFT uygulanmıştır, Şekil 5'de ölçüm modeli verilmiştir.

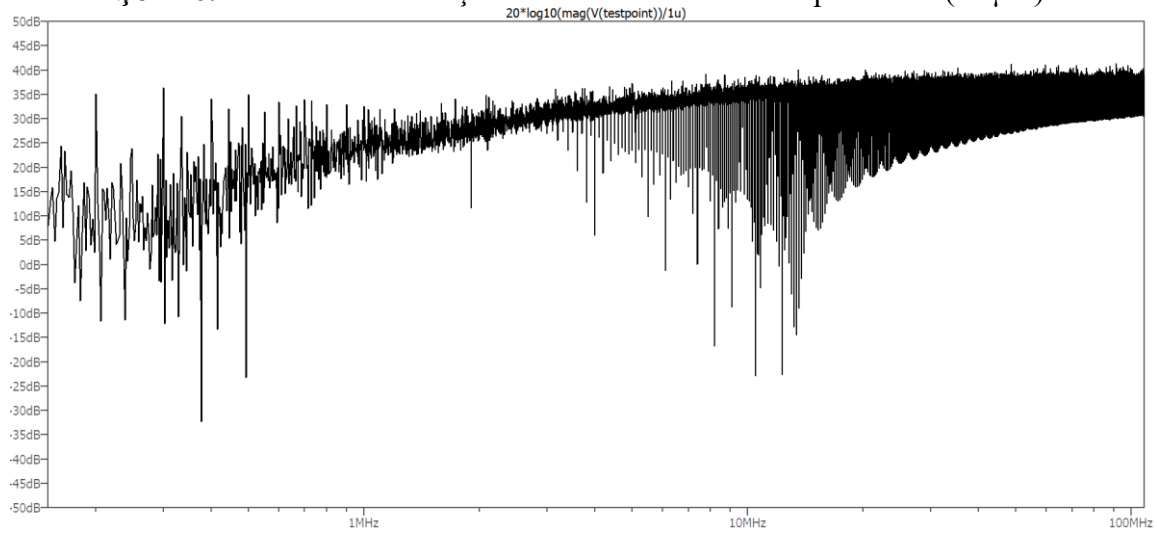


Şekil 5. LTspice ortamında LISN tabanlı ölçüm modeli.

Kayıt aralığı 1,5–2 ms olduğundan FFT veri penceresi 0,5 ms'dir; bu sürenin karşılığı olan frekans örnekleme aralığı yaklaşık 2 kHz'dir. Si ve GaN spektrumları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Her iki grafikte frekans ekseni logaritmiktir ve gerilim spektrumu dBµV cinsinden gösterilmiştir. Spektrumlarda frekansa bağlı tepe ve çukur bölgeleri görülmektedir.



Şekil 6. Si MOSFET dönüştürücünün TestPoint FFT spektrumu (dBµV).



Şekil 7. GaN FET dönüştürücünün TestPoint FFT spektrumu (dBµV).

3. SONUÇ

LTspice karşılaştırmasında 24 V giriş, 3 Ω yük ve 470 µH çıkış endüktansı koşullarında iki senkron Buck yapısı yaklaşık 12 V çıkışa ulaşmıştır. Bu çalışma noktasında teorik yük akımı 4 A, çıkış gücü 48 W'tır. Başlangıç grafiklerinden kararlı seviyeye yaklaşma süreleri Si için 0,8–0,9 ms, GaN için 0,9–1,0 ms olarak okunmuştur. LISN tabanlı FFT sonuçları iki yapının spektral dağılımlarının farklılaştığını göstermiştir; ancak sayısal harmonik genlikleri belirlenmediği için iletken EMI üstünlüğü hakkında hüküm verilmemiştir. Sürücü ve anahtar birlikte değiştiğinden farklar yalnızca yarı iletken teknolojisine bağlanamaz. Sonuçlar prototip öncesi karşılaştırmayla sınırlıdır.

KAYNAKÇA

Bhargava, A., Pommerenke, D., Kam, K. W., Centola, F., & Lam, C. W. (2011). DC-DC buck converter EMI reduction using PCB layout modification. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 53(3), 806–813. https://doi.org/10.1109/TEMC.2011.2145421

CISPR. (2021). CISPR 25:2021—Vehicles, boats and internal combustion engines—Radio disturbance characteristics. International Electrotechnical Commission.

Efficient Power Conversion. (2024). EPC2204: Enhancement mode power transistor [Veri sayfası; 26 Kasım 2024 revizyonu]. https://epc-co.com/epc/portals/0/epc/documents/datasheets/EPC2204_datasheet.pdf

Erickson, R. W., & Maksimović, D. (2020). Fundamentals of power electronics (3. bs.). Springer.

Infineon Technologies. (2020). BSC016N04LS G: OptiMOS 3 power transistor (Rev. 2.1) [Veri sayfası]. https://www.infineon.com/assets/row/public/documents/24/49/infineon-bsc016n04ls-g-datasheet-en.pdf

Jia, N., Xue, L., & Cui, H. (2024). Mitigating EMI noise in propagation paths: Review of parasitic and coupling effects in power electronic packages, filters, and systems. IEEE Open Journal of Power Electronics, 5, 352–368. https://doi.org/10.1109/OJPEL.2024.3357832

Jones, E. A., Wang, F. F., & Costinett, D. (2016). Review of commercial GaN power devices and GaN-based converter design challenges. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 4(3), 707–719. https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2582685

Ott, H. W. (2009). Electromagnetic compatibility engineering. Wiley.

United Nations Economic Commission for Europe. (2019). UN Regulation No. 10: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility.

A DRONE-BASED APPROACH FOR MONITORING BARK BEETLE DAMAGE IN FIR FORESTS

Res. Asst. Mustafa TURNA
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Engineering, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-6356-1158
Lect. Dr. Fidan Gamze KIZILÇAY
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Information Technology, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9059-2016
Asst. Prof. Dr. Abdullah Oğuz KIZILÇAY
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Engineering, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7607-0924

ABSTRACT
This study addresses a drone-based imaging and analysis approach for the early-stage monitoring of bark beetle infestation in fir forests located in the vicinity of Hacımusa village, Gökçebey district of Zonguldak province. Within this scope, the topographic characteristics of the study area were examined, key parameters for drone flight planning were evaluated, and a flight route approach for delineating fir forest boundaries was discussed. In addition, the relevant literature was reviewed, and an analytical framework based on the combined use of RGB camera-equipped drone systems and deep learning methods was established. The proposed approach is structured as an integrated process consisting of data acquisition, image processing, model development, and spatial data generation. This framework enables the representation of bark beetle infestation across different stages (green, yellow, red, and grey), providing a basis for the identification of early-stage infestation. One of the key contributions of the approach is that it enables not only the detection of individual trees but also the identification of spatial clusters based on infestation stages. Accordingly, the generated data are evaluated in three main components: (i) a dataset containing the location and health status of all trees, (ii) spatial distributions of tree clusters classified according to infestation stages, and (iii) boundary zones representing early-stage infestation with potential risk. The developed spatial data structure and infestation intensity maps enable the identification of areas that can be prioritized for intervention before visible damage occurs. The approach offers a cost-effective and practical monitoring solution, particularly in forested areas with limited accessibility. Overall, the study presents a methodological framework that can contribute to the development of data-driven decision support processes for the early detection and monitoring of bark beetle infestation.
Keywords: Bark beetle, infestation stages, drone, spatial mapping.

GÖKNAR ORMANLARINDA KABUK BÖCEĞİ TAHRİBATININ İZLENMESİNE YÖNELİK DRONE TABANLI BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Bu çalışma, Zonguldak ili Gökçebey ilçesi Hacımusa köyü çevresinde yer alan göknar ormanlarında kabuk böceği zararının erken evrede izlenmesine yönelik drone tabanlı bir görüntüleme ve analiz yaklaşımını ele almaktadır. Bu kapsamda bölgenin topoğrafik yapısı incelenmiş, drone uçuş planlamasına ilişkin temel parametreler değerlendirilmiş ve göknar ormanlarının sınırlarının belirlenmesine yönelik bir uçuş rotası yaklaşımı tartışılmıştır. Ayrıca konuya ilişkin literatür incelenmiş ve RGB kameralı drone sistemleri ile derin öğrenme tabanlı yöntemlerin birlikte kullanımına dayalı bir analiz çerçevesi ortaya konmuştur. Önerilen yaklaşım, veri toplama, görüntü işleme, model geliştirme ve mekansal veri üretimi aşamalarını içeren bütüncül bir süreç olarak yapılandırılmıştır. Bu yapı sayesinde kabuk böceği zararının yeşil, sarı, kırmızı ve gri evrelerde temsil edilmesi mümkün hale gelmekte ve özellikle erken evrelerin belirlenmesine yönelik bir temel oluşturulmaktadır. Yaklaşımın önemli katkılarından biri, yalnızca tekil ağaç tespitine değil, aynı zamanda zarar evrelerine göre mekansal kümelenmelerin belirlenmesine de olanak tanımasıdır. Bu doğrultuda elde edilen veriler; tüm ağaçların konum ve sağlık bilgilerini içeren veri seti, zarar evrelerine göre sınıflandırılmış mekansal dağılımlar ve erken evreyi temsil eden potansiyel risk sınırları olmak üzere üç temel bileşende değerlendirilmektedir. Geliştirilen mekansal veri yapısı ve zarar yoğunluk haritaları, henüz görünür zarar oluşmadan müdahale edilebilecek alanların belirlenmesine imkan tanımaktadır. Yaklaşım, özellikle erişimin zor olduğu ormanlık alanlarda düşük maliyetli ve uygulanabilir bir izleme olanağı sunmaktadır. Çalışma, kabuk böceği tahribatının erken tespiti ve izlenmesine yönelik veri temelli karar destek süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek bir yöntem çerçevesi ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Kabuk böceği, zarar evreleri, drone, mekansal işaretleme.

1. INTRODUCTION

Bark beetles are among the most destructive biotic stress agents worldwide, causing serious ecological and economic damage to forest ecosystems. Their infestations lead to tree mortality, reduced timber quality, loss of biodiversity, and the destruction of carbon sink areas (Edburg et al. 2012; Eroğlu et al. 2005; Klouček et al. 2019; Bijou et al. 2023). Bark beetles bore beneath the bark of fir trees, feed on the phloem layer, and carry symbiotic fungi (*Ophiostoma* species) into the tree (Eroğlu n.d.). These fungi disrupt water and nutrient transport in the xylem, causing the physiological desiccation of the tree. As a result, the tree loses its photosynthetic capacity and dies within a short period (Çanakçıoğlu and Mol 1998). Failure to stop outbreaks at an early stage leads to a rapid decline in fir populations and to the replacement of the forest structure by secondary species. Therefore, the development of early detection mechanisms is of great importance for the sustainability of fir ecosystems (Powell et al. 2021).

Studies on the biology and infestations of bark beetles have shown that this pest creates a four-stage damage cycle (green–yellow–red–grey attack stages), particularly in spruce, fir, and pine species (Bárta et al. 2021). The duration of each stage may vary from a few months to two years depending on factors such as the beetle species, the health status of the tree, and climatic conditions (Vega and Hofstetter 2015). Failure to detect infestation at the early (green attack) stage results in the loss of large forest areas. Hyperspectral and LiDAR-based remote sensing methods have been tested in the literature for detecting bark beetle infestations; however, their widespread application has remained limited owing to the high cost of these sensors and their

complex data processing requirements (Marvasti-Zadeh et al. 2024). In recent years, studies using RGB camera-equipped drones (unmanned aerial vehicles) and deep learning models (CNN, YOLO, ResNet, DenseNet, etc.) have offered a cost-effective and practical approach (Cessna et al. 2021; Minařík et al. 2021; Safonova et al. 2022). Studies conducted in Finland (Honkavaara et al. 2020) and China (Lin et al. 2019) successfully detected bark beetle infestation at the individual tree level using hyperspectral, multispectral, and LiDAR data, whereas studies conducted in Japan (Nguyen et al. 2021) and Russia (Safonova et al. 2019) showed that high detection accuracy can also be achieved using RGB imagery alone combined with deep learning. However, most of these studies were carried out in regions with flat terrain, whereas areas such as Zonguldak, which have complex topography and a diversity of local bark beetle species, have not been sufficiently investigated. Although no study has focused directly on this issue in Zonguldak province, research conducted by Yüksel and Öztürk (2022) in Düzce province revealed that the desiccation observed in blue spruce (*Picea pungens*) trees in parks and gardens was associated with damage caused by the great fir bark beetle (*Pityokteines curvidens*). This finding strengthens the likelihood that a similar biological risk may emerge in the forests of Zonguldak at the regional scale.

Since 2024, national and local media have drawn attention to marked increases in the populations of bark beetles (*Scolytinae*) and brown marmorated stink bugs (*Halyomorpha halys*), particularly in the Black Sea Region. Rising temperatures associated with climate change increase the oviposition frequency and survival rates of these species, giving rise to a process that may pose serious ecological and economic risks as of 2025. Recently, biological control efforts against bark beetles and related field practices in the Zonguldak region have been regularly covered by the local media; in particular, the production and release activities of the laboratory in Gökçebey and the announcements of the Zonguldak Regional Directorate of Forestry have been brought to public attention (TRT Haber 2020; Akıncı 2025; Devrek Postası 2025). Such field practices are regarded not only as a technical intervention but also as a concrete indicator of the forest management strategy aimed at early warning, preventing the spread of the pest, and limiting economic and ecological damage.

More than ten bark beetle species have been identified in Turkish forests (Eroğlu et al. 2005; Yüksel and Öztürk 2022), and *Pityokteines curvidens* is known to be commonly observed on fir trees in the Zonguldak region. Although Zonguldak province has limited diversity in coniferous tree species, fir (*Abies* spp.) populations play a critical role in maintaining the regional ecosystem balance. The exposure of these trees to bark beetle infestation leads both to the deterioration of the natural forest structure and to adverse effects on the ecological carbon cycle (Klouček et al. 2019).

Fir forests are found in two areas of Hacımusa village in the Gökçebey district of Zonguldak province. This study presents a methodological framework and a field-based data approach for the early-stage detection of bark beetle infestations specific to the fir forests in these areas using RGB-based drone imagery. Within this scope, two fir forest areas located near Hacımusa village were taken as case study sites, and the study focused on identifying and spatially representing the damage caused by bark beetles (*Scolytinae*, Coleoptera: Curculionidae). The proposed approach is based on dividing high-resolution images obtained by drone systems with autonomous flight capability into sub-sections, labelling them, and classifying the health status of trees from these images.

When considered in the context of the biological control practices being carried out simultaneously in the field, the study highlights the need for data for the early-stage monitoring of bark beetle damage and proposes a low-cost and applicable monitoring approach. In this

context, the detectability of bark beetle damage from RGB images, the potential role of deep learning approaches in this process, and the visual distinguishability of early damage stages are evaluated.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Areas

The fieldwork covers drone-assisted data collection activities in the Göknar-1 and Göknar-2 forest areas located within the boundaries of Hacımusa village, Gökçebey district, Zonguldak province. As shown in Figure 1, the site is located close to the intersection of the provincial borders of Zonguldak, Bartın, and Karabük.

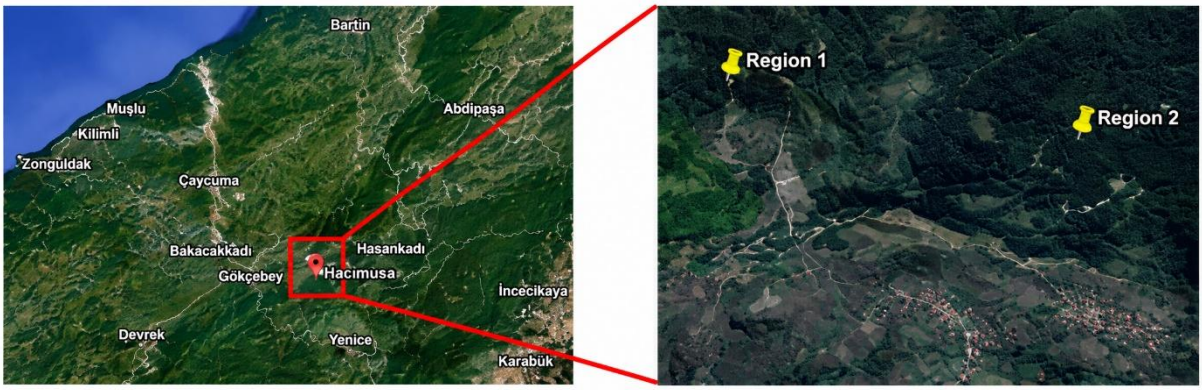


Figure 1. Location of the fir forests in Region 1 and Region 2.

Owing to factors such as the expansion of the forested area over time, the boundaries of the fir forest are not precisely known. Figure 2 shows an image taken from the forested area of Region 2.



Figure 2. Northern slopes in Region 2.

Because of the rugged terrain and dense vegetation cover, routine inspection of the tree population is quite difficult. Therefore, coordinate-based labelling by means of drone-assisted data collection is of great importance.

2.2. Data Collection

In order to determine fir-dominated forest areas, a flight route algorithm is developed, and the forested areas are scanned using a drone equipped with a high-resolution camera mounted on its body. Drone flights are performed at an altitude of approximately 50–70 m to obtain high-resolution images. An example flight route is presented in Figure 3.

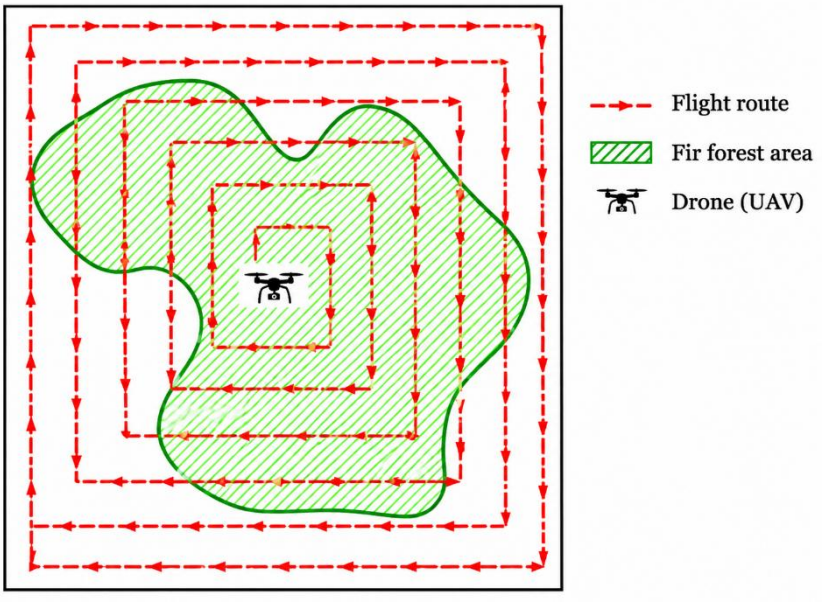


Figure 3. Delineation of the fir forest area.

The developed algorithm is updated in line with the observations obtained during fieldwork, and the flight route of the drone is reprogrammed accordingly. The camera angle is re-evaluated depending on terrain conditions and the quality of the acquired images.

During data collection, the drone flies at appropriate altitude and angle parameters and collects images from different parts of the fir forest through its high-resolution camera system. The collected images are labelled so that they include the visual symptoms of bark beetle damage, as shown in Figure 4. In the image processing and analysis stage, pre-processing steps such as noise reduction, contrast enhancement, and edge detection are applied.



a) b) c) d)

Figure 4. Infestation stages of fir trees: a) green, b) yellow, c) red, d) grey (Safonova et al. 2019).

Among deep learning techniques, CNNs show high performance in the classification of digital images in the field of computer vision (Nguyen et al. 2021; Onishi and Ise 2021; Safonova et al. 2022). In this study, a CNN-based deep learning model is trained and tested on the dataset to be created in order to identify areas showing bark beetle damage.

2.3. Spatial Mapping

Using the obtained findings, the location data of all detected trees are recorded, and lspatial labelling of affected areas is carried out in different parts of the forest. Figure 5 shows the areas enclosed by the damage stages of fir trees.



Figure 5. Illustrative spatial distribution of bark beetle infestation stages.

The damage stages are marked on the map as yellow (2), red (3), and grey (4). Only areas in the 2nd, 3rd, and 4th stages are shown on the map. The green stage is the stage at which the beetle has infested the tree. Therefore, since the green area along the boundary of the yellow areas marked on the map is considered to carry a potential risk, these areas are also marked. To facilitate evaluation, the coordinates of the estimated centre point of each labelled area and the size of the impact area in square metres (m^2) are recorded. The proposed format for recording infestation stages, geographic coordinates, and affected areas is illustrated in Table 1 using hypothetical data.

Table 1. Proposed data format for spatial mapping of bark beetle infestation.

Damage stage	Area	Latitude	Longitude	Affected area (m^2)
Yellow (2)	S1	41°17'29.65"N	32°15'16.80"E	70
	S2	41°17'25.95"N	32°15'20.57"E	45
	S3	41°17'25.32"N	32°15'8.82"E	30
Red (3)	K1	41°17'25.47"N	32°15'15.37"E	65
	K2	41°17'28.90"N	32°15'23.57"E	25
Grey (4)	G1	41°17'28.33"N	32°15'11.92"E	20

The green stage refers to the boundary zones surrounding the yellow-stage areas. Since these zones are at risk of progressing to the next damage stage, regular monitoring of this boundary line is important. For this reason, the location of the boundary line is additionally recorded as a sequence of coordinates.

3. DISCUSSION

The process defined within the scope of the study comprises the stages of data collection, image processing, model development, and spatial data generation. This structure enables the

representation of bark beetle damage at different stages (green, yellow, red, and grey) and provides a basis particularly for identifying the early stages.

Another important contribution of the proposed approach is that it enables not only the detection of individual trees but also the identification of spatial clusters according to damage stages. In this context, the obtained data can be evaluated in three main groups: (i) a dataset containing the health status and location information of all trees, (ii) the spatial distribution of tree clusters classified according to damage stages, and (iii) boundary zones that represent the early stage and carry potential risk. In particular, delineating the boundaries of the green stage offers an important advantage in identifying areas where intervention is possible before the transition to the yellow stage.

Nevertheless, the proposed approach has certain limitations. Since RGB images provide limited spectral information compared with hyperspectral systems, variability depending on environmental conditions may arise in the detection of early-stage damage symptoms. Moreover, factors such as topography, shadow effects, and canopy density may directly affect image quality and model performance. Therefore, the method needs to be tested under different terrain conditions, and the dataset needs to be diversified.

Finally, rather than presenting direct results, this study puts forward an applicable methodological framework for the early detection of bark beetle damage and draws attention to the need for data in this field. When considered together with the biological control practices carried out in the field, the proposed approach may become a tool capable of providing decision support to forest management processes.

4. CONCLUSIONS

This study presents a drone-based imaging and analysis approach for the early-stage detection of bark beetle damage. The combined use of RGB camera systems and deep learning-based methods provides an effective data generation process, particularly in forested areas with limited accessibility. Evaluating the data obtained within this approach together with the location information and damage stages of trees makes it possible to reveal the spatial distribution of bark beetle damage. Identifying potential risk zones that represent the early stage, in addition to the damaged areas, may contribute to more effective planning of intervention processes. Furthermore, the generated spatial dataset and the damage intensity maps derived from it, when shared with the relevant institutions, may facilitate regular monitoring of the region and contribute to the development of early intervention systems. In this context, the study draws attention to the need for data generation and method development for the early detection of bark beetle damage in fir forests and offers a conceptual framework regarding the applicability of remote sensing and artificial intelligence-based approaches in this field.

REFERENCES

Akıncı AE. (2025). Orman zararlılarına geçit yok. Kanal B Zonguldak. https://www.kanalbzonguldak.com.tr/orman-zararlilarina-gecit-yok

Bárta V, Lukeš P, Homolová L. (2021). Early detection of bark beetle infestation in Norway spruce forests of Central Europe using Sentinel-2. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 100, 102335.

Bijou S, Kupková L, Potůčková M, Červená L, Lysák J. (2023). Evaluation of the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 10, 1033–1040.

Cessna J, Alonzo MG, Foster AC, Cook BD. (2021). Mapping boreal forest spruce beetle health status at the individual crown scale using fused spectral and structural data. Forests 12(9), 1145.

Çanakçıoğlu H, Mol T. (1998). Orman Entomolojisi (Zararlı ve Yararlı Böcekler). İÜ Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
Devrek Postası. (2025). Orman zararlılarıyla biyolojik mücadele sürüyor. https://www.devrekpostasi.net/2025/07/16/orman-zararlilariyla-biyolojik-mucadele-suruyor
Edburg SL, Hicke JA, Brooks PD, Pendall EG, Ewers BE, Norton U, Gochis D, Gutmann ED, Meddens AJ. (2012). Cascading impacts of bark beetle-caused tree mortality on coupled biogeophysical and biogeochemical processes. Frontiers in Ecology and the Environment 10, 416–424.
Eroğlu M. (n.d.). Kabuk Böcekleri ve Salgınları [Lecture Notes]. Karadeniz Teknik Üniversitesi. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15_01_00_e7231.pdf (Accessed: 24.10.2026)
Eroğlu M, Akıncı HA, Özcan GE. (2005). Kabuk böceği salgınlarının nedenleri ve boyutları. Orman ve Av Dergisi 5, 27–34.
Honkavaara E, Näsi R, Oliveira R, Viljanen N, Suomalainen J, Khoramshahi E, Hakala T, Nevalainen O, Markelin L, Vuorinen M, Kankaanhuhta V, Lyytikäinen-Saarenmaa P, Haataja L. (2020). Using multitemporal hyper- and multispectral UAV imaging for detecting bark beetle infestation on Norway spruce. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B3-2020, 429–434.
Klouček T, Komárek J, Surový P, Hrach K, Janata P, Vašíček B. (2019). The use of UAV mounted sensors for precise detection of bark beetle infestation. Remote Sensing 11(13), 1561.
Lin Q, Huang H, Wang J, Huang K, Liu Y. (2019). Detection of pine shoot beetle (PSB) stress on pine forests at individual tree level using UAV-based hyperspectral imagery and LiDAR. Remote Sensing 11(21), 2540.
Marvasti-Zadeh SM, Goodsman D, Ray N, Erbilgin N. (2024). Early detection of bark beetle attack using remote sensing and machine learning: A review. ACM Computing Surveys 56, 97.
Minařík R, Langhammer J, Lendzioch T. (2021). Detection of bark beetle disturbance at tree level using UAS multispectral imagery and deep learning. Remote Sensing 13(23), 4768.
Nguyen HT, Lopez Caceres ML, Moritake K, Kentsch S, Shu H, Diez Y. (2021). Individual sick fir tree (Abies mariesii) identification in insect infested forests by means of UAV images and deep learning. Remote Sensing 13(2), 260.
Onishi M, Ise T. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. Scientific Reports 11, 903.
Powell D, Groβe-Wilde E, Krokene P, Roy A, Chakraborty A, Löfstedt C, Vogel H, Andersson MN, Schlyter F. (2021). A highly-contiguous genome assembly of the Eurasian spruce bark beetle, Ips typographus, provides insight into a major forest pest. Communications Biology 4(1), 1059.
Safonova A, Hamad Y, Alekhina A, Kaplun D. (2022). Detection of Norway spruce trees (Picea abies) infested by bark beetle in UAV images using YOLOs architectures. IEEE Access 10, 10384–10392.
Safonova A, Tabik S, Alcaraz-Segura D, Rubtsov A, Maglinets Y, Herrera F. (2019). Detection of fir trees (Abies sibirica) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning. Remote Sensing 11(6), 643.
TRT Haber. (2020). Ormanlar 'komando böcekler'le korunacak. https://www.trthaber.com/haber/yasam/ormanlar-komando-boceklerle-korunacak-499850.html
Vega FE, Hofstetter RW. (2015). Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species. Elsevier, Amsterdam.
Yüksel B, Öztürk N. (2022). Türkiye'de büyük göknar kabuk böceği Pityokteines curvidens (Germ.) zararlısının mavi ladin (Picea pungens Engelm.) türünde ilk kaydı. Bartın Orman Fakültesi Dergisi 24(1), 25–31.

SILICA–BORIC ACID–BASED POROUS COMPOSITE DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA FOR MICROWAVE APPLICATIONS

Lect. Dr. Fidan Gamze KIZILÇAY
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Information Technology, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9059-2016
Prof. Dr. İhsan TOROĞLU
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Mining Engineering, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4443-9835
Asst. Prof. Dr. Abdullah Oğuz KIZILÇAY
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Engineering, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7607-0924

ABSTRACT
This study experimentally investigates the use of a silica–boric acid-based porous composite material in dielectric resonator antenna applications in the microwave frequency range. Silica and boric acid powders were mixed in equal proportions, compacted in a mold, and heat-treated at 800 °C for 10 minutes to produce a cylindrical sample with irregular pores. This structure provides a dielectric medium comprising solid material and air voids. A composite resonator containing pores formed spontaneously during fabrication was evaluated as an alternative to dense and homogeneous dielectric materials. The fabricated sample was integrated into a microstrip-fed, slot-coupled antenna structure, and its input reflection coefficient was measured. Experimental measurements yielded an input reflection coefficient of −39 dB at a resonant frequency of approximately 4.4 GHz and an impedance bandwidth of approximately 2.5 GHz over the 3.8–6.3 GHz range. The findings indicate that silica–boric acid-based porous composites have potential for use in dielectric resonator antenna applications. Controlling and standardizing the pore geometry is important for developing wideband designs and improving fabrication repeatability.
Keywords: Dielectric resonator antenna, silica–boric acid composite, porous material, wideband.

MIKRODALGA UYGULAMALARI IÇIN SILIKA–BORIK ASIT ESASLI GÖZENEKLI KOMPOZIT DIELEKTRIK REZONATÖR ANTEN

ÖZET
Bu çalışmada, silika–borik asit esaslı gözenekli bir kompozit malzemenin mikrodalga frekans bölgesindeki dielektrik rezonatör anten uygulamalarında kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Eşit oranlarda karıştırılan silika ve borik asit tozları, kalıpta sıkıştırılarak 800 °C sıcaklıkta 10 dakika süreyle ısıl işleme tabi tutulmuş ve düzensiz gözeneklere sahip silindirik bir numune elde edilmiştir. Bu yapı, katı malzeme ile hava boşluklarının birlikte bulunduğu bir dielektrik ortam sunmaktadır. Çalışmada, yoğun ve homojen dielektrik malzemelere alternatif olarak, üretim sırasında kendiliğinden oluşan gözenekleri içeren bir kompozit rezonatör değerlendirilmiştir. Üretilen numune, mikroşerit beslemeli ve yarık kuplajlı anten yapısına yerleştirilerek giriş yansıma katsayısı ölçülmüştür. Deneysel ölçümlerde, yaklaşık 4,4 GHz

rezonans frekansında −39 dB giriş yansıma katsayısı ve 3,8–6,3 GHz aralığında yaklaşık 2,5 GHz empedans bant genişliği elde edilmiştir. Bulgular, silika–borik asit esaslı gözenekli kompozitlerin dielektrik rezonatör anten uygulamalarında değerlendirilebileceğini göstermektedir. Gözenek geometrisinin kontrol edilmesi ve standartlaştırılması, geniş bantlı tasarımların geliştirilmesi ve üretim tekrarlanabilirliği açısından önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Dielektrik rezonatör anten, silika–borik asit kompozit, gözenekli malzeme, geniş bant.

1. INTRODUCTION

Dielectric resonator antennas (DRAs) have gained increasing attention for low-loss and high-efficiency antenna designs, particularly with the development of 5G and 6G communication systems (Ahmad et al., 2023; Alanazi, 2023). Unlike conventional metallic antennas, DRAs utilize the electromagnetic properties of dielectric materials and can provide high radiation efficiency and wide impedance bandwidth through appropriate material selection and feeding configurations (Petosa, 2007; Keyrouz and Caratelli, 2016). However, DRA performance depends not only on the resonator geometry but also on the dielectric properties of the material used (Bhattacharya and Ray, 2023). Therefore, the development of composite materials and the incorporation of different dielectric structures into antenna designs have become important research topics.

Composite dielectric materials allow electromagnetic properties to be tailored to specific design requirements by combining different constituents. Previous studies have developed multiband and wideband DRA configurations using various dielectric compositions and resonator geometries (Bhattacharya and Ray, 2023; Omar et al., 2024). However, conventional DRA applications predominantly employ dense and homogeneous dielectric materials with well-defined physical and electromagnetic properties. Although this approach provides predictability in design and fabrication, it also highlights the importance of investigating alternative composite structures (Suhailrashid et al., 2019).

Silica–boric acid-based composites are promising material systems for investigation due to the physical and chemical transformations that occur during heat treatment. The release of water and the formation of boron oxide during the heating of boric acid may influence the consolidation process of the composite. Furthermore, the proportions of the constituents, processing temperature, and fabrication conditions can affect the microstructure and dielectric properties of the resulting material.

The use of porous structures in dielectric resonators represents an alternative design approach that can modify the effective permittivity and electromagnetic field distribution of the material. Previous experimental studies have demonstrated that DRA geometries with controlled perforations can improve impedance bandwidth (Chair et al., 2006; Ali et al., 2020). In addition, the reduced material density associated with porous structures may offer advantages in terms of antenna weight reduction. However, since the size, geometry, and distribution of pores significantly influence electromagnetic behavior, irregular porosity may complicate the prediction of resonance characteristics.

In this study, the potential of an irregularly porous composite material obtained through the heat treatment of silica and boric acid powders for DRA applications is experimentally investigated. Unlike conventional homogeneous dielectric materials, the proposed resonator contains pores that form spontaneously during fabrication. The dielectric properties of the material and the input reflection coefficient of the antenna are evaluated to characterize its experimental resonance behavior. Based on the findings, the potential benefits of standardizing pore

geometry for electromagnetic modeling, fabrication repeatability, and wideband DRA design are also discussed.

2. MATERIALS AND METHODS

The developed antenna system consists of a microstrip-fed antenna structure and a composite dielectric resonator placed on it. The experimental procedure comprises the preparation of the composite material, the design and fabrication of the antenna geometry, and finally, the measurement of the antenna's electromagnetic response.

2.1. Preparation of the Composite Material

Silica (SiO_2) and boric acid (H_3BO_3) powders were used to fabricate the dielectric resonator. The primary objective of selecting these materials was to develop a composite in which pores could form during heat treatment while producing a consolidated solid structure. Thus, unlike conventional dense and homogeneous dielectric materials, the aim was to obtain a resonator structure containing both a solid phase and air voids.

To prepare the composite, silica and boric acid powders were mixed in approximately equal proportions (50:50) to obtain a homogeneous mixture. The prepared powder mixture was placed into a mold and compacted under pressure. The compaction process was intended to bring the powder particles together and ensure the geometric integrity of the sample before subsequent heat treatment. The compacted sample was then heat-treated at 800 °C for 10 minutes to form a solid structure.

During heat treatment, boric acid undergoes a chemical transformation involving the release of water and the formation of boron oxide. The overall stoichiometric representation of this transformation is given in Equation (1) (Kaur et al., 2021).

$$2H_3BO_3 \xrightarrow{heating} B_2O_3 + 3H_2O \quad (1)$$

The resulting boron oxide, together with silica, contributes to the formation of a consolidated solid structure during heat treatment. In the silica–boron oxide system, the composition ratio and heat treatment temperature influence densification and microstructure (Li et al., 2015). The fabrication process employed in this study is schematically illustrated below:

$$SiO_2 + H_3BO_3 \xrightarrow{pressing\ in\ a\ mold} Pressed\ sample \xrightarrow{heating} Porous\ composite$$

Following heat treatment, a consolidated cylindrical solid sample with numerous irregular pores on its surface was obtained. The appearance of the sample is shown in Figure 1. The release of volatile components during the thermal decomposition of boric acid is considered a possible contributing factor to pore formation. However, since pore formation may also be influenced by powder compaction conditions and other physical changes occurring during heat treatment, porosity was not attributed to a single mechanism.



Figure 1. Porous silica–boric acid-based composite sample obtained after heat treatment.

The size and distribution of pores in the obtained sample do not exhibit a regular geometric pattern. This suggests that the electromagnetic properties of the composite may depend not only on the dielectric constants of its constituents but also on the volume fraction and spatial distribution of air voids within the material. Therefore, unlike resonators with controlled perforation geometries, the fabricated sample was considered an experimental structure suitable for investigating the effects of spontaneously formed porosity during fabrication on DRA applications.

2.2. Design and Fabrication of the Antenna

In the proposed antenna, a microstrip-fed, slot-coupled configuration was employed to excite the dielectric resonator electromagnetically. A microstrip feed line is located on one side of the substrate, while a metallic ground plane containing a slot is placed on the opposite side. The electromagnetic energy transmitted through the feed line is coupled to the dielectric resonator via the slot in the ground plane.

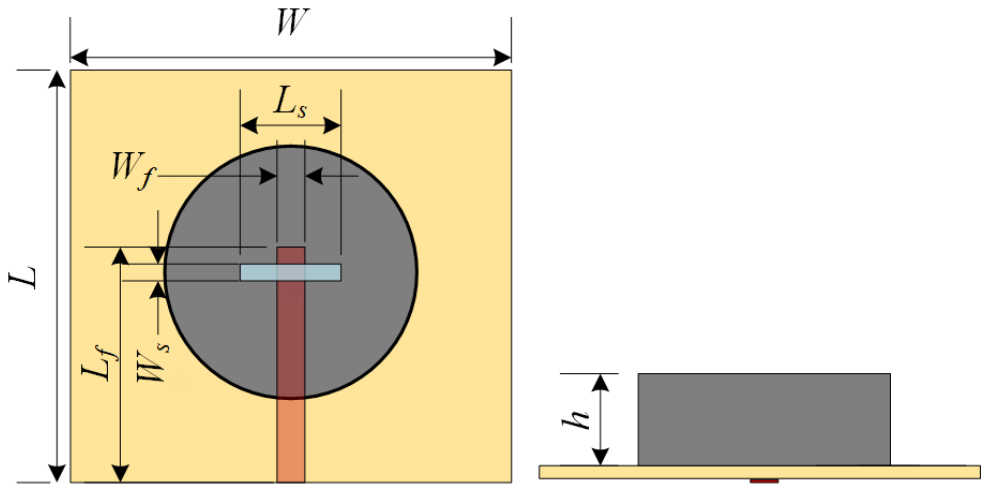


Figure 2. Geometry and design parameters of the DRA.

Here, L represents the antenna length, W_f the width of the microstrip feed line, L_s the slot length, and W_s the slot width, while h and r denote the height and radius of the dielectric resonator, respectively. The values of these parameters are presented in Table 1.

Table 1. Antenna design parameters.

Parameter	Value (mm)
L	70
W	70
W_f	1.8
L_s	23
W_s	2.3
h	6
r	12

The fabricated microstrip antenna structure is shown in Figure 3.

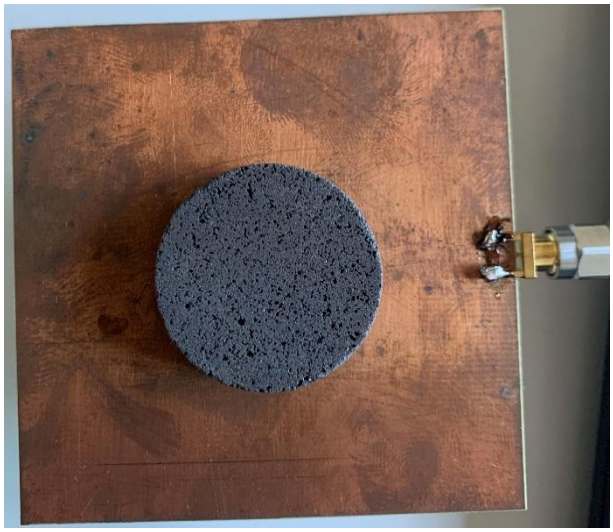


Figure 3. Fabricated microstrip-fed antenna with the porous composite dielectric resonator.

Following the preliminary characterization of its dielectric properties, the fabricated composite sample was integrated with the microstrip-fed antenna to investigate its experimental electromagnetic behavior. For this purpose, the antenna's input reflection coefficient (S11) was measured as a function of frequency. The measured S11 response was used to characterize the experimental behavior of the porous composite resonator within the antenna configuration.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the impedance matching of the antenna in the microwave frequency range, S11 was measured over the frequency range of 1–12 GHz, and the results are presented in Figure 4.

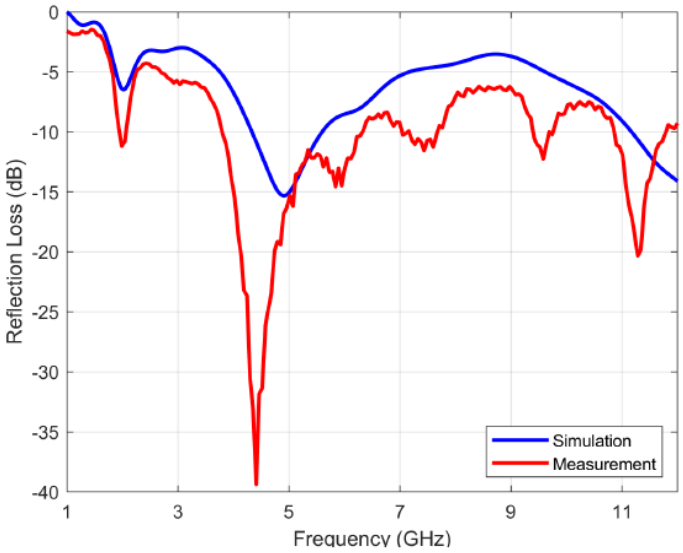


Figure 4. Simulation and experimental S11 measurement results of the DRA.

A pronounced resonance reaching approximately −39 dB was observed at around 4.5 GHz in the measured S_{11} response. Furthermore, the presence of additional reflection minima at higher frequencies indicates that the antenna can achieve impedance matching in multiple frequency regions. These results demonstrate the feasibility of using the porous composite in DRA applications and highlight its potential for wideband antenna designs.

Air-filled pores in porous structures can modify the effective permittivity and electromagnetic field distribution of the resonator, potentially contributing to an increase in impedance bandwidth (Chair et al., 2006; Ali et al., 2020). In this study, however, the pores were not intentionally introduced but formed spontaneously during composite fabrication. The random distribution of pores may complicate the prediction of resonance frequencies and electromagnetic modeling. Nevertheless, standardizing pore sizes and their distribution could offer advantages for both numerical modeling and fabrication repeatability. This approach may facilitate the development of DRA structures that provide good impedance matching and wide bandwidth at the desired resonance frequency.

4. CONCLUSIONS

In this study, a porous silica–boric acid-based composite was fabricated and experimentally evaluated in a microstrip-fed, slot-coupled dielectric resonator antenna. The antenna exhibited an input reflection coefficient of approximately −39 dB at 4.5 GHz, indicating that good impedance matching could be achieved using the fabricated composite. The findings suggest that this composite, in which pores form spontaneously during fabrication, is a promising material for further investigation in microwave antenna applications.

Porous silica–boric acid-based composites offer an alternative approach to DRA development by integrating material fabrication with electromagnetic design. By controlling the constituent ratios and pore geometries, the resonance frequency could be tuned and the impedance bandwidth potentially improved. This approach may provide a basis for developing wideband composite antenna designs with improved fabrication repeatability that can be adapted to different microwave frequency bands.

REFERENCES

Ahmad, H., Jamaluddin, M. H., Seman, F. C. & Rahman, M. (2023). MIMO dielectric resonator antennas for 5G applications: A review. *Electronics*, *12*(16), 3469. https://doi.org/10.3390/electronics12163469

Alanazi, M. D. (2023). A review of dielectric resonator antenna at mm-wave band. *Eng, 4*(1), 843–856. https://doi.org/10.3390/eng4010051

Ali, I., Jamaluddin, M. H., Gaya, A. & Rahim, H. A. (2020). A dielectric resonator antenna with enhanced gain and bandwidth for 5G applications. *Sensors*, *20*(3), 675. https://doi.org/10.3390/s20030675

Bhattacharya (Mitra), S. & Ray, S. C. (2023). Broadbanding and multi-frequency in dielectric resonator antennas: A comprehensive review. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, *15*(4), 709–725. https://doi.org/10.1017/S1759078722000769

Chair, R., Kishk, A. A. & Lee, K. F. (2006). Experimental investigation for wideband perforated dielectric resonator antenna. *Electronics Letters*, *42*(3), 137–139. https://doi.org/10.1049/el:20063987

Kaur, G., Kainth, S., Kumar, R., Sharma, P. & Pandey, O. P. (2021). Reaction kinetics during non-isothermal solid-state synthesis of boron trioxide via boric acid dehydration. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 134*, 347–359. https://doi.org/10.1007/s11144-021-02084-8

Keyrouz, S. & Caratelli, D. (2016). Dielectric resonator antennas: Basic concepts, design guidelines, and recent developments at millimeter-wave frequencies. *International Journal of Antennas and Propagation, 2016*, 6075680. https://doi.org/10.1155/2016/6075680

Li, L., Liu, C. H., Zhu, J. Y. & Chen, X. M. (2015). B_2O_3-modified fused silica microwave dielectric materials with ultra-low dielectric constant. *Journal of the European Ceramic Society, 35*(6), 1799–1805. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.12.016

Omar, M. F. M., Zubir, I. A., Kamal, S., Rajendran, J. A. L., Mohamed, J. J., Ahmad, Z. A., Ain, M. F. & Rahim, S. K. A. (2024). A critical review on the development of multi-geometrical stacked wideband dielectric resonator antenna. *Alexandria Engineering Journal, 100*, 111–141. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.028

Petosa, A. (2007). *Dielectric Resonator Antenna Handbook*. Artech House.

Suhailrashid, S., Sreekala, C. O. & Menon, S. K. (2019). Dielectric resonator antenna on $BaTiO_3$ embedded with TiO_2 nano composite for Wi-Fi applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 577*, 012190. https://doi.org/10.1088/1757-899X/577/1/012190

İBNÜ'L-ARABÎ'DE VELÂYET MERTEBELERİNİN KOZMİK KARŞILIKLARI: YEDİ KAT GÖK, YEDİ KAT YER VE HAKİKAT ARZI

Doç. Dr. Zeliha ÖNER
Aksaray University, Faculty of Theology, Department of Sufism, Aksaray
ORCID ID: 0000-0001-8119-6495

ÖZET
Velâyet kavramı, Muhyiddîn İbnü'l-Arabî (öl. 638/1240)'de varlığın nizâmıyla doğrudan alâkalı bir mertebeler bütünü olarak ele alınır. *el-Fütûhâtü'l-Mekkiyye* başta olmak üzere İbnü'l-Arabî'nin eserlerinin çeşitli kısımlarında kutb, imâmân (iki imam), evtâd ve ebdâl gibi ricâlü'l-gayb mertebeleri, âlemin yönleri, iklimleri ve gökleriyle irtibatlı olarak tasvir edilir.
Bu çalışmada, İbnü'l-Arabî'nin kozmolojisinde velâyet mertebeleri ele alınmaktadır. Yedi kat gök, yedi kat yer ve hakikat arzı (arzu'l-hakîka) tasavvurları arasındaki münâsebet bu bağlamda tespit edilmektedir. Bu maksatla, kutb, ebdâl, iklîm, arz, semâ, hayâl ve berzah ıstılahları İbnü'l-Arabî'nin ilgili pasajlarında fişlenerek tahlil edilmiştir. Şeyh-i Ekber'e göre kutub âlemin mihveridir. Evtâd dört yönün, yedi ebdâl ise yedi iklimin muhâfızıdır. Bu yedili tertip, yedi kat gök ile yedi kat yerin birbirine mukâbil yapısıyla örtüşür. Kutub, hakîkat-i Muhammediyye'nin her devirdeki vârisi olarak bu tertibin merkezinde yer alır ve âlemin bekâsı onun vücûduna bağlanır. Hz. Âdem'in yaratılışından artan çamurdan var edildiği bildirilen hakikat arzı ise yedi kat yerin tabakalarından biri değil, hayâl mertebesine ait bir berzah âlemidir. Bu arz, ârifin müşâhede sahasıdır.
Buna göre velâyet mertebeleri, hissî âlemde yönleri ve iklimleri koruyan yedili bir düzen olarak karşılık bulur. Hakikat arzı ise ârifin hayâl âleminde müşâhede ettiği bir yer olarak bu düzenin dışında kalır. İbnü'l-Arabî'nin ortaya koyduğu bu kutbiyet tasavvuru, Sadreddîn Konevî ve talebeleri eliyle şerh geleneğine intikal etmiş ve İbnü'l-Fârız'ın *Kasîde-i Tâiyye*'sinin şerh anlayışını belirleyen başlıca çerçevelerden biri hâline gelmiştir.
Anahtar kelimeler: Tasavvuf, İbnü'l-Arabî, el-Fütûhâtü'l-Mekkiyye, velâyet, kutb, ebdâl, yedi kat yer, hakikat arzı.

THE COSMIC CORRELATES OF THE RANKS OF SAINTHOOD IN IBN AL-ʿARABĪ: THE SEVEN HEAVENS, THE SEVEN EARTHS AND THE EARTH OF REALITY

ABSTRACT
Ibn al-ʿArabī (d. 638/1240) treats sainthood (walāya) as a set of ranks directly tied to the order of existence. In his works, above all al-Futūḥāt al-Makkiyya, the ranks of the hidden men (rijāl al-ghayb), such as the pole (quṭb), the two imams, the pegs (awtād) and the substitutes (abdāl), are described in connection with the directions, climes and heavens of the world.
This study deals with the ranks of sainthood in Ibn al-ʿArabī's cosmology and their relation to the seven heavens, the seven earths and the Earth of Reality (arḍ al-ḥaqīqa). To this end, the terms quṭb, abdāl, iqlīm, arḍ, samāʾ, khayāl and barzakh were noted in the relevant passages and analysed. According to the Shaykh al-Akbar, the pole is the axis of the world. The pegs guard the four directions, and the seven substitutes the seven climes. This sevenfold arrangement matches the corresponding structure of the seven heavens and the seven earths. As heir to the Muhammadan Reality in every age, the pole stands at its centre, and the continuance of the world depends on him. The Earth of Reality, said to have been made from the clay left over from Adam's creation, is not one of the seven earths but an isthmus world belonging to the

level of imagination, where the gnostic contemplates.
Accordingly, the ranks of sainthood correspond in the sensory world to a sevenfold order guarding the directions and climes, while the Earth of Reality, seen by the gnostic in the world of imagination, lies outside this order. This conception of poleship was passed on to the commentary tradition by Ṣadr al-Dīn al-Qūnawī and his students and became one of the main frameworks for commenting on Ibn al-Fāriḍ's al-Tāʾiyya.
Keywords: Sufism, Ibn al-ʿArabī, al-Futūḥāt al-Makkiyya, sainthood, pole, abdāl, seven earths, Earth of Reality

1. GİRİŞ

Velâyet, Muhyiddîn İbnü'l-Arabî'nin (öl. 638/1240) düşüncesinde nübüvvet, hilâfet ve insân-ı kâmil meseleleriyle iç içe ele alınan temel kavramlardan biridir. Şeyh-i Ekber, nübüvvetin teşrî boyutuyla sona erdiğini, velâyetin ise kıyâmete kadar devam ettiğini kabul eder ve hatmü'l-evliyâ meselesini bu çerçevede işler (Chodkiewicz, 1993). Velâyet üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmı velînin mânevî kemâli, velâyet ile nübüvvet arasındaki münâsebet ve hatm meselesi üzerinde yoğunlaşmıştır (Chodkiewicz, 1993; Elmore, 1999; Öteleş, 2018).

Ricâlü'l-gayb adıyla anılan ve sayıları her devirde sabit kabul edilen velî zümreleri, tasavvuf literatüründe İbnü'l-Arabî'den önce de yer almaktadır. Hakîm et-Tirmizî'nin (öl. 320/932) velâyet üzerine yazdıkları ve Hücvîrî'nin (öl. 465/1072) *Keşfü'l-mahcûb*'unda verdiği evliyâ tertibi bu konudaki erken örnekler arasında zikredilebilir (Uludağ, 2008, s. 81–83). İbnü'l-Arabî bu tasavvuru devralmış, ancak velî zümrelerini âlemin yönleri, iklimleri ve gökleriyle irtibatlandırarak ona kozmolojik bir muhteva kazandırmıştır.

Öte yandan İbnü'l-Arabî kozmolojisi, yedi kat gök ve yedi kat yer tasavvuru ile hayâl âlemine dair geniş bir malzeme ihtiva eder (Chittick, 1998). Bu malzeme içinde *el-Fütûhâtü'l-Mekkiyye*'nin sekizinci bâbında anlatılan hakikat arzı (arzu'l-hakîka), Henry Corbin'in çalışmalarıyla Batı literatüründe geniş ilgi görmüştür (Corbin, 1977). Corbin bu arzı İran düşüncesindeki semâvî arz tasavvurlarıyla birlikte ele almış ve onu daha çok vizyoner bir coğrafya çerçevesinde okumuştur. Velâyet mertebeleri ile yedi kat yer ve hakikat arzı arasındaki münâsebet ise tespit edilebildiği kadarıyla müstakil bir inceleme konusu yapılmamıştır.

Bu çalışmada, İbnü'l-Arabî kozmolojisinde velâyet mertebelerinin hangi kozmik karşılıklara sahip olduğu sorusu ele alınmaktadır. Çalışma metin merkezli bir yaklaşımla yürütülmüş, *Fütûhât*'ın ricâlü'l-gayba ayrılan yetmiş üçüncü bâbı ile hakikat arzını anlatan sekizinci bâbı başta olmak üzere ilgili yerler esas alınmıştır. Metin olarak Ekrem Demirli'nin *Fütûhât* tercümesi kullanılmıştır. Kutb, imâmân, evtâd, ebdâl, iklîm, arz, semâ, hayâl ve berzah ıstılahlarının geçtiği yerler fişlenmiş, ıstılahların birbirleriyle münâsebeti bu fişler üzerinden tahlil edilmiştir. Çalışmanın birinci kısmında ricâlü'l-gayb tertibi, ikinci kısmında yedi kat gök ve yer tasavvuru, üçüncü kısmında kutbun bu tertip içindeki yeri, dördüncü kısmında ise hakikat arzı incelenmiştir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Ricâlü'l-Gayb Tertibi ve Âlemin Yönleri

İbnü'l-Arabî, *Fütûhât*'ın yetmiş üçüncü bâbında evliyâyı sayıları belirli olan ve belirli olmayan zümreler hâlinde tasnif eder (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 6, s. 112). Sayıları her devirde sabit kalan zümrelerin başında kutub, iki imam, dört evtâd ve yedi ebdâl gelir. Bu zümrelerin her birinin âlemdeki vazifesi ayrı ayrı tarif edilir.

Kutub, devrin tek velîsidir ve bütün zümrelerin merkezinde yer alır. İbnü'l-Arabî kutbu âlemin

üzerinde döndüğü mihver olarak tasvir eder. Kutbun sağında ve solunda bulunan iki imamdan biri melekût âlemine, diğeri mülk âlemine nazar eder ve kutub vefat ettiğinde yerini bunlardan biri alır (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 6, s. 113).

Evtâd, âlemin dört cihetini muhafaza eden dört velîdir. İbnü'l-Arabî bu dört velînin her birini doğu, batı, kuzey ve güneyden birine nispet eder (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 6, s. 113). Bu zümrenin adı, "Dağları da birer kazık yapmadık mı?" (en-Nebe 78/7) âyetinde dağlar için kullanılan evtâd kelimesini hatırlatır. Dağların yeryüzünü sabit tutması gibi evtâd da âlemin dört cihetini ayakta tutar.

Ebdâl ise yedi velîden oluşur ve her biri yeryüzünün yedi ikliminden birini muhafaza eder. İbnü'l-Arabî'ye göre her bedel, yedi göğün birinde bulunan bir peygamberin rûhâniyetinden feyz alır ve vazifesini o göğün tesiri altında yürütür. Bu eşleştirmede birinci iklimin bedeli yedinci gökteki Hz. İbrâhim'in, yedinci iklimin bedeli ise birinci gökteki Hz. Âdem'in kademi üzeredir. Aradaki iklimler sırasıyla Hz. Mûsâ, Hz. Hârûn, Hz. İdrîs, Hz. Yûsuf ve Hz. Îsâ'nın bulunduğu göklerle irtibatlıdır (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 6, s. 114 ve c. 1, s. 449–452).

Bu tertipte velâyet mertebeleri iki eksen üzerinde konumlanır. Kutub ve iki imam âlemin merkezini ve onun mülk ile melekût yönlerini, evtâd yatay düzlemde dört ciheti, ebdâl ise yeryüzünün iklimlerini göklere bağlayan dikey bir silsileyi temsil eder. Bu sebeple ebdâl mertebesi gök ile yer arasında bir köprü vazifesi görür ve yedili tertip velâyetin kozmik karşılığının en belirgin ifadesi hâline gelir.

2.2. Yedi Kat Gök ve Yedi Kat Yer

Kur'ân'da "Allah, yedi göğü ve yerden de onların benzerini yaratandır" (et-Talâk 65/12) buyrulur. Âyetteki "benzerini" ifadesi müfessirler arasında farklı şekillerde anlaşılmış, bir kısmı bunu yedi kat yer şeklinde yorumlamıştır. İbnü'l-Arabî de yedi kat yeri kabul eder ve onları yedi kat gökle birbirine mukâbil bir yapı içinde düşünür (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 1, s. 406).

Şeyh-i Ekber'in kozmolojisinde gökler ile yerler arasındaki münâsebet, ulvî babalar (el-âbâü'l-ulviyye) ve süflî analar (el-ümmehâtü's-süfliyye) tabiriyle ifade edilir. Gökler tesir eden, yerler ise bu tesiri kabul eden taraf olarak düşünülür ve âlemdeki oluş bu ikisinin buluşmasıyla meydana gelir (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 1, s. 400, 406; Chittick, 1998, s. xxx, 254). Bu yapı içinde her göğün tesiri yeryüzüne ve onun tabakalarına iner.

Bu açıdan bakıldığında yedi ebdâl ile yedi iklim arasındaki münâsebet, gök ile yer arasındaki genel münâsebetin velâyet düzlemindeki bir yansıması olarak görülebilir. Bedel, bağlı olduğu göğün tesirini kendi ikliminde taşıyan kişidir. Yedi kat yerin yedi kat gökle mukâbil yapısı ise bu silsilenin kozmolojik zeminini teşkil eder.

Yedi iklim yeryüzünün yatay bölünüşünü, yedi kat yer ise dikey tabakalarını ifade ettiği için bu iki yedili tertip birbirinin aynı değildir. Her ikisi de yedi kat göğe bağlanmaları bakımından aynı kozmik düzenin parçalarıdır. İbnü'l-Arabî âfâk ile enfüs arasındaki tekabülü esas aldığı için bu yedili düzen insanın mertebeleriyle de ilişkilendirilir. İnsan küçük âlem olarak büyük âlemdeki mertebeleri kendi bünyesinde taşır (Chittick, 1998, s. xxxii).

2.3. Kutub: Tertibin Merkezi ve Âlemin Bekâsı

Ricâlü'l-gayb tertibinin merkezinde kutub bulunur. İbnü'l-Arabî'ye göre hakikatte tek bir kutub vardır ve o da Hz. Muhammed'in rûhudur. Her devrin kutbu, bu Muhammedî hakikatin o devirdeki vârisi ve nâibi olarak kutbiyet makāmını üstlenir (Chodkiewicz, 1993, s. 92). Bu sebeple kutbiyet, hakîkat-i Muhammediyye'ye vârislik ile doğrudan irtibatlıdır.

Kutbun âlemin bekāsıyla ilişkisi, İbnü'l-Arabî'nin insân-ı kâmil tasavvuru içinde anlaşılabilir. *Fusûsü'l-hikem*'in Âdem fassında insân-ı kâmil, hazinelerin üzerine vurulan mühre benzetilir. Mühür yerinde durduğu sürece hazine korunur. İbnü'l-Arabî'ye göre âlem de insân-ı kâmil var oldukça muhafaza edilir (İbnü'l-Arabî, 1971, s. 20–21). Kutub, her devirde bu insân-ı kâmil

mertebesinin bilfiil sahibi olduğu için âlemin bekāsı onun vücûduna bağlanır.
Kutbun bu merkezî konumu, ricâlü'l-gayb tertibinin diğer halkalarına da anlam kazandırır. İki imam kutbun mülk ve melekût âlemlerine bakan iki yönünü, evtâd dört cihetini, ebdâl ise yedi iklimi onun adına muhafaza eder. Velâyet mertebeleri bu bakımdan kutubdan yayılan tek bir düzenin halkaları olarak düşünülmelidir.

2.4. Hakikat Arzı: Hayâl Mertebesine Ait Bir Berzah

Fütûhât'ın sekizinci bâbı, Hz. Âdem'in yaratılışından artan çamurdan var edilen bir arzı konu edinir. İbnü'l-Arabî'nin anlatımına göre Allah, Âdem'i yarattıktan sonra çamurundan bir miktar artmış, bu bakiyyeden hurma ağacını yaratmıştır. Ondan da susam tanesi kadar bir miktar arta kalmış ve Allah bu bakiyyeyi geniş bir arz hâlinde yaymıştır (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 1, s. 365–366). Şeyh-i Ekber bu arzı hakikat arzı olarak adlandırır.
İbnü'l-Arabî hakikat arzında aklen muhal görülen şeylerin vücûd bulduğunu söyler. Orada cisimler latîfleşir, mânâlar suret kazanır ve her şey canlı olarak tasvir edilir. Ârifler bu arza bedenleriyle değil, rûhlarıyla girerler (İbnü'l-Arabî, 2007, c. 1, s. 366–370). Henry Corbin (1977, s. 135–143) bu bâbın tercümesini eserine dâhil etmiş ve hakikat arzını İbnü'l-Arabî'nin hayâl nazariyesinin en somut tasvirlerinden biri olarak değerlendirmiştir.
Hakikat arzının kozmolojideki yeri, yedi kat yerle karşılaştırıldığında daha açık görülür. Yedi kat yer hissî âlemin tabakalarıdır ve yedi kat gökle mukâbil bir yapıya sahiptir. Hakikat arzı ise bu tabakalardan biri sayılmaz ve hayâl mertebesine ait bir berzah âlemi olarak tasvir edilir. İbnü'l-Arabî'de hayâl, hissî âlem ile mânâ âlemi arasında yer alan ve her ikisinin özelliklerini taşıyan bir varlık mertebesidir (Chittick, 1989, s. 14–15, 115–118). Hakikat arzı, bu ara mertebenin bir mekân olarak tasviridir.
Bu durumda hakikat arzı, ricâlü'l-gayb tertibinin kozmik düzeninin dışında kalır. Ebdâlin muhafaza ettiği iklimler hissî âleme aittir ve gök ile yer arasındaki tesir silsilesine bağlıdır. Hakikat arzı ise ârifin hayâl âleminde müşâhede ettiği bir yerdir ve bu silsilenin bir halkası sayılmaz. Velâyet mertebelerinin vazifesi hissî âlemin muhafazasıyla ilgiliyken hakikat arzı ârifin müşâhedesinin sahası olarak ayrı bir yerde durur. Bu ayrım, İbnü'l-Arabî kozmolojisinde arz kavramının tek bir anlamla sınırlı olmadığını da göstermektedir.

3. SONUÇ

İbnü'l-Arabî velâyeti velînin şahsî kemâlinin yanı sıra âlemin nizâmıyla irtibatlı bir mertebeler düzeni olarak ele alır. *Fütûhât*'ın yetmiş üçüncü bâbında kutub, iki imam, evtâd ve ebdâl, âlemin merkezi, yönleri ve iklimleriyle birlikte tasvir edilir. Kutub âlemin mihveri, iki imam onun mülk ve melekûta bakan yönleri, evtâd dört cihetin, ebdâl ise yedi iklimin muhafızıdır.
Ebdâlin her birinin yedi göğün birindeki bir peygamberin rûhâniyetine bağlanması, velâyet mertebelerini gök ile yer arasındaki genel münâsebete bağlar. Yedi kat yerin yedi kat gökle mukâbil yapısı bu yedili tertibin kozmolojik zeminini teşkil eder. Kutub, hakîkat-i Muhammediyye'nin her devirdeki vârisi olarak bu tertibin merkezinde durur ve âlemin bekāsı onun vücûduna bağlanır.
Hz. Âdem'in yaratılışından artan çamurdan var edildiği bildirilen hakikat arzı ise yedi kat yerin tabakalarından biri değildir. Hayâl mertebesine ait bir berzah âlemi olan bu arz, ârifin müşâhede sahasıdır ve velâyet mertebelerinin hissî âlemdeki düzeninin dışında kalır. Buna göre İbnü'l-Arabî kozmolojisinde biri hissî âlemin tabakalarını, diğeri hayâl âleminin genişliğini ifade eden iki ayrı arz anlayışı bulunmaktadır.
İbnü'l-Arabî'nin ortaya koyduğu bu kutbiyet tasavvuru, Sadreddîn Konevî (öl. 673/1274) ve talebeleri eliyle şerh geleneğine intikal etmiş ve İbnü'l-Fârız'ın *Kasîde-i Tâiyye*'sinin şerh anlayışını belirleyen başlıca çerçevelerden biri hâline gelmiştir. Yedi kat yerin her birinin tabiatı

ve sakinleri ile hakikat arzının *Fütûhât*'ın diğer bâblarındaki yansımaları ise ayrı bir incelemenin konusunu teşkil edecek genişliktedir.

KAYNAKÇA

Chittick, W. C. (1989). *The Sufi path of knowledge: Ibn al-ʿArabi's metaphysics of imagination*. State University of New York Press.

Chittick, W. C. (1998). *The self-disclosure of God: Principles of Ibn al-ʿArabī's cosmology*. State University of New York Press.

Chodkiewicz, M. (1993). *The seal of the saints: Prophethood and sainthood in the doctrine of Ibn ʿArabī* (L. Sherrard, Çev.). Islamic Texts Society.

Corbin, H. (1977). *Spiritual body and celestial earth: From Mazdean Iran to Shīʿite Iran* (N. Pearson, Çev.). Princeton University Press.

Elmore, G. T. (1999). *Islamic sainthood in the fullness of time: Ibn al-ʿArabī's Book of the fabulous gryphon*. Brill.

İbnü'l-Arabî. (1971). *Fusûsü'l-hikem* (M. N. Gencosman, Çev.; 4. bs.). İstanbul Kitabevi.

İbnü'l-Arabî. (2007). *el-Fütûhâtü'l-Mekkiyye* (E. Demirli, Çev.; C. 1, 6). Litera Yayıncılık.

Öteleş, Z. (2018). Hakîkat arayışında son insân-ı kâmil: İbnü'l-Arabî'de hâtemü'l-evlâd mefhumu. F. Karaman (Ed.), *Uluslararası İbnü'l Arabi Sempozyumu: İnsanlığın hakikat arayışı ve İbnü'l Arabi. Bildiri kitabı*(C. 1, ss. 695–706) içinde. İnönü Üniversitesi Yayınları.

Uludağ, S. (2008). Ricâlü'l-gayb. *TDV İslâm Ansiklopedisi* (C. 35, ss. 81–83). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

İBNÜ'L-FÂRIZ'IN *KASÎDE-İ TÂİYYE*'SİNDE VELÂYET VE KUTBİYET: SAÎDÜDDÎN FERGÂNÎ'NİN FARSÇA VE ARAPÇA ŞERHLERİ ÇERÇEVESİNDE BİR İNCELEME

Doç. Dr. Zeliha ÖNER
Aksaray University, Faculty of Theology, Department of Sufism, Aksaray
ORCID ID: 0000-0001-8119-6495

ÖZET
Ömer İbnü'l-Fârız (öl. 632/1235) *Kasîde-i Tâiyye* isimli eserinin beyitlerini Mısır'da, İbnü'l-Arabî (öl. 638/1240) ile herhangi bir doğrudan irtibatı bilinmeksizin kaleme almıştır. Bu kasîdeyi Ekberî nazariyenin bir metni hâline getiren ise Sadreddîn Konevî'nin (öl. 673/1274) dersleri olmuştur. Kasîdenin Ekberî gelenek içindeki ilk şârihi sayılan ve bu derslere bizzat katılan Saîdüddîn Fergânî (öl. 699/1300) önce bu kasîdeye Farsça bir şerh olarak, *Meşâriku'd-derârî*'yi yazmıştır. Daha sonra da aynı şerhi genişleterek Arapça *Müntehe'l-medârik* adıyla yeniden telif etmiştir. Tebliğde, İbnü'l-Arabî'nin âlemin mihveri olarak tarif ettiği kutbun Fergânî'nin kalemiyle kasîdenin "ben" diline nasıl taşındığı incelenmiştir. İki şerh velâyet, kutb, hilâfet, cem' ve hakîkat-i Muhammediyye ıstılahlarının geçtiği yerler esas alınarak birlikte okunmuştur. Fergânî'ye göre şâirin ittihâd ve cem' beyitlerinde konuşan, bir vecd hâlinin sahibi olmaktan ziyâde kutbiyet makāmına ermiş kâmil velîdir. Şârih bu sebeple kasîdedeki sülûk merhalelerini İbnü'l-Arabî'nin velâyet tertibine göre sıralar ve kutbiyeti hakîkat-i Muhammediyye'ye vârislikle izah eder. Şiirde ferdî bir tecrübe gibi görünen ifadeler, bu okuma neticesinde Ekberî mertebeler düzeninin birer ifadesine dönüşür. Farsça şerhte anlatım daha muhtasardır. Konevî'nin ders üslubu daha belirgindir. Nitekim Konevî bu şerhe Farsça takriz de yazmıştır. Arapça şerhte ise ıstılahlar çoğalır, nazarî delillendirme de genişler. Bu fark, Fergânî'nin velâyet anlayışındaki bir değişiklikten ziyâde eserin hitap ettiği çevrenin ve yazıldığı dilin farklılığıyla izah edilebilir. Neticede İbnü'l-Arabî'nin kozmolojisindeki kutbiyet tasavvuru, Konevî halkasında bir şiir şerhinin anahtarı hâline gelmiş ve kasidenin sonraki şerhlerinde de belirleyici olmaya devam etmiştir.
Anahtar kelimeler: Tasavvuf, İbnü'l-Fârız, Kasîde-i Tâiyye, Saîdüddîn Fergânî, velâyet, kutbiyet

SAINTHOOD AND POLESHIP IN IBN AL-FĀRIḌ'S AL-TĀʾIYYA: A STUDY IN LIGHT OF SAʿĪD AL-DĪN AL-FARGHĀNĪ'S PERSIAN AND ARABIC COMMENTARIES

ABSTRACT
ʿUmar Ibn al-Fāriḍ (d. 632/1235) composed his Tāʾiyya in Egypt, with no known direct connection to Ibn al-ʿArabī. It was the lectures of Ṣadr al-Dīn al-Qūnawī (d. 673/1274) that turned the poem into a text of Akbarian sainthood theory. Saʿīd al-Dīn al-Farghānī (d. 699/1300), who attended these lectures, first wrote the Persian Mashāriq al-darārī and later expanded the same commentary into the Arabic Muntahā al-madārik. The paper examines how the pole, defined by Ibn al-ʿArabī as the axis of the world, was carried by al-Farghānī's pen into the poem's first-person voice. The two commentaries are read together on the basis of the passages in which walāya, quṭb, khilāfa, jamʿ and the Muhammadan Reality occur. For al-Farghānī, the one who speaks in the poet's verses of union and gathering is less the subject of an ecstatic state than the perfect saint who has attained the station of poleship. The commentator therefore arranges the stages of the path in the poem according to Ibn al-ʿArabī's order of

sainthood and explains poleship as inheritance of the Muhammadan Reality. Expressions that look like individual experience in the poem become, in this reading, statements of the Akbarian order of ranks. The Persian commentary is more concise and al-Qūnawī's lecturing manner is more evident in it. Indeed, al-Qūnawī wrote a Persian commendation (taqrīẓ) for this work. In the Arabic one the technical terms multiply and the theoretical argument widens. This difference can be explained by the circle each work addresses and the language in which it was written, rather than by a change in al-Farghānī's view of sainthood. Ultimately, the conception of poleship in Ibn al-ʿArabī's cosmology became the key to commenting on a poem in al-Qūnawī's circle and continued to shape the later commentaries on the Tāʾiyya.
Keywords: Sufism, Ibn al-Fāriḍ, al-Tāʾiyya, Saʿīd al-Dīn al-Farghānī, sainthood (walāya), poleship (quṭbiyya)

1. GİRİŞ

Ömer b. Ali İbnü'l-Fârız (öl. 632/1235), Arap edebiyatında "sultânü'l-âşıkîn" lakabıyla tanınan Mısırlı bir sûfî şâirdir. Dîvânı içinde en geniş ve en çok şerh edilen manzumesi, *Nazmü's-sülûk* ya da *et-Tâiyyetü'l-kübrâ* adıyla da bilinen *Kasîde-i Tâiyye*'dir (Homerin, 2001a). Yedi yüz elliyi aşkın beyitten oluşan kaside, şâirin kendi dilinden aktarılan bir sülûk tecrübesini anlatır (İbnü'l-Fârız, 2004).

İbnü'l-Fârız'ın İbnü'l-Arabî ile doğrudan bir irtibatı bilinmemektedir (Homerin, 2001b, s. 29). Menkıbevî kaynaklarda İbnü'l-Arabî'nin *Tâiyye*'yi şerh etmek için şâirden izin istediği, şâirin de *Fütûhât*'ın zaten onun şerhi olduğunu söylediği rivayet edilir. Homerin (2001b, ss. 27-32) bu rivayetin tarihî değerinden ziyâde kasîdenin sonraki dönemde Ekberî gelenek içinde okunmasını meşrulaştıran bir anlatı olarak önem taşıdığına dikkat çeker. Kasîdeyi Ekberî velâyet nazariyesinin bir metni hâline getiren, Sadreddîn Konevî'nin (öl. 673/1274) *Tâiyye* üzerine verdiği dersler olmuştur.

Bu derslere katılan Saîdüddîn Fergânî (öl. 699/1300), kasîdenin Ekberî gelenek içindeki ilk şârihi olarak kabul edilir. Fergânî önce Farsça *Meşâriku'd-derârî*'yi kaleme almış, ardından bu şerhi genişleterek Arapça *Müntehe'l-medârik* adıyla yeniden telif etmiştir (Chittick, 1992, ss. 203-217; Kılıç, 1995, ss. 378-382). Bu iki şerh, *Tâiyye*'nin daha sonra Abdürrezzâk el-Kâşânî (öl. 736/1335), Dâvûd el-Kayserî (öl. 751/1350) ve Abdülganî en-Nâblusî (öl. 1143/1731) gibi şârihler tarafından okunuşunu da büyük ölçüde belirlemiştir (Öteleş, 2014, ss. 185-190; 2020, s. 64).

Tâiyye ve şerhleri üzerine yapılan çalışmalar kasîdenin dilini, şerh geleneğinin gelişimini ve tek tek şârihlerin yorumlarını konu edinmiştir (Homerin, 2001b; Öner, 2025; Öteleş, 2020, ss. 62-80). Fergânî'nin velâyet ve kutbiyet meselesini *Tâiyye*'ye nasıl uyguladığı ve bu bakımdan iki şerhi arasındaki farklar ise tespit edilebildiği kadarıyla müstakil olarak ele alınmamıştır.

Bu çalışmada, İbnü'l-Arabî'nin âlemin mihveri olarak tarif ettiği kutbun Fergânî'nin kalemiyle kasîdenin "ben" diline nasıl taşındığı incelenmiştir. İki şerh velâyet, kutb, hilâfet, cem' ve hakîkat-i Muhammediyye ıstılahlarının geçtiği yerler esas alınarak birlikte okunmuştur. *Meşâriku'd-derârî* için Seyyid Celâleddîn Âştiyânî neşrinin ikinci baskısı (Fergânî, 1379 hş.), *Müntehe'l-medârik* için ise ilk baskısı 1293 yılında yapılan eserin Âsım İbrâhim el-Keyyâlî tahkiki (Fergânî, 2007) esas alınmıştır. Çalışmanın birinci kısmında iki şerhin telif süreci, ikinci kısmında şâirin "ben" dilinin yorumu, üçüncü kısmında kutbiyet ile hakîkat-i Muhammediyye arasındaki münâsebet, dördüncü kısmında ise iki şerh arasındaki farklar ele alınmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Fergânî'nin İki Şerhi

Saîdüddîn Muhammed b. Ahmed el-Fergânî, Mâverâünnehir'deki Fergana bölgesinden gelmiş ve Sadreddîn Konevî'nin yakın talebeleri arasında yer almıştır. *Meşâriku'd-derârî*'nin başında yer alan mukaddimesinde Konevî, kasîdeyi Mısır, Şam ve Rûm'da okuttuğunu, pek çok kimsenin bu derslerde not tuttuğu hâlde bunları ancak Fergânî'nin yazıya geçirebildiğini belirtir (Fergânî, 1379 hş., ss. 111-112; Homerin, 2001b, s. 29). Konevî'nin bu şerhe Farsça bir takriz yazmış olması, eserin hocanın onayını taşıdığını göstermektedir (Fergânî, 1379 hş., ss. 111-112; Öteleş, 2020, s. 64). Arapça şerhte ise böyle bir takriz bulunmaz (Kılıç, 1995, ss. 378-382).

Müntehe'l-medârik, Farsça şerhin Arapçaya aktarılmış ve genişletilmiş hâlidir. Eserin dört asıl ve bir tetimmeden oluşan uzun mukaddimesi (Fergânî, 2007, c. 1, ss. 18-145), Ekberî varlık tasavvurunun derli toplu bir özeti olarak sonraki dönemde müstakil bir metin gibi okunmuştur (Chittick, 1992, ss. 203-217). Mukaddimenin ardından kasîde beyit beyit şerh edilir. Farsça şerhte de aynı tertip bulunmakla birlikte mukaddime daha kısa, beyitlerin şerhi daha muhtasardır.

2.2. Kasidenin "Ben" Dili ve Kâmil Velî

Tâiyye'de şâir baştan sona birinci şahıs ağzından konuşur. Kasîdenin önemli bir kısmında sevgili ile birleşme, aradaki ikiliğin kalkması ve şâirin kendisini sevgilinin vasıflarıyla anması dile getirilir. Bu beyitler, zâhirî bir okumayla hulûl ve ittihad iddiası olarak anlaşılmış ve şâir bu sebeple ağır tenkitlere maruz kalmıştır (Homerin, 2001b, ss. 28-32).

Fergânî bu beyitlerde konuşan "ben"i, bir vecd hâlinin sahibi olmaktan ziyâde kutbiyet makāmına ermiş kâmil velî olarak yorumlar. Ona göre şâir kendi şahsî hâlini anlatmaz, cem makāmına ulaşmış velînin lisanıyla konuşur. Şâirin kendisine nispet ettiği vasıflar, bu makāmda velînin hakîkat-i Muhammediyye ile kurduğu irtibatın neticesidir (Fergânî, 1379 hş., ss. 398, 431, 494; Fergânî, 2007, c. 1, ss. 14-15, 394-399). Nitekim şârih, kasîdenin "Muhammedî nübüvvetin değil, Ahmedî velâyet makāmının tercümanlığı lisanı üzere" söylendiğini açıkça ifade eder (Fergânî, 2007, c. 1, s. 478). Bu yorum, ittihad beyitlerini hulûl ithamından kurtaran ve onları Ekberî velâyet nazariyesine bağlayan bir okuma imkânı sağlar.

Bu okumanın açık bir örneği, şâirin âlemin ve göklerin kendisi etrafında döndüğünü söylediği beyitlerde görülür:

فَبِي دَارَتِ الأَفْلَاكُ فَاعْجَبْ لِقُطْبِهَا الْـ ... ـمُحِيطِ بِهَا وَالْقُطْبُ مَرْكَزُ نُقْطَةِ
وَلَا قُطْبَ قَبْلِي عَنْ ثَلَاثٍ خَلَفْتُهُ ... وَقُطْبِيَّةُ الأَوْتَادِ عَنْ بَدَلِيَّةِ

"Felekler benimle döndü. Onları kuşatan kutbuna şaş, hâlbuki kutup bir dairenin merkez noktasıdır. Benden önce, üç (kutup) makāmından halef olarak geçtiğim bir kutup yoktur. Evtâdın kutbiyeti ise bedeliyyetten gelir." [Beyit no. 500-501] Fergânî birinci beyitte şâirin, "cem'iyyet-i vahdet" hakikatiyle tahakkuku sebebiyle feleklerin kutbu olduğunu söyler. Ona göre her sûrî kutup dairenin merkezidir, bu kutup ise hem merkez hem de daireyi kuşatandır (Fergânî, 1379 hş., s. 533; Fergânî, 2007, c. 2, ss. 75-76). İkinci beyitte kutbu, Hakk'ın âleme nazar ettiği mahal ve bütün esmâsının cem'iyyetine mazhar olan tek kişi olarak tarif eder ve onu "gavs" diye de adlandırır. Şârihe göre şâirin kutbiyeti, başka bir kutbun halefi olarak değil, "makām-ı ehadiyyet-i cem'"de kābiliyetinin kemâli ile hâsıl olmuştur (Fergânî, 1379 hş., ss. 534-535; Fergânî, 2007, c. 2, ss. 76-79). Bu izah, İbnü'l-Arabî'nin âlemin mihveri olarak tarif ettiği kutbun makāmına tekabül eder (Chodkiewicz, 1993, s. 93).

2.3. Kutbiyet ve Hakîkat-i Muhammediyye'ye Vârislik

Fergânî, kasîdedeki sülûk merhalelerini İbnü'l-Arabî'nin velâyet tertibine göre sıralar. Şâirin fark hâlinden cem makāmına, oradan da cem'den sonraki fark makāmına geçişi, velâyet

mertebelerinde bir yükseliş olarak okunur. Fergânî mukaddimenin tetimmesinde kurb mertebelerini mahabbet, tevhîd, ma'rifet ve tahkîk olmak üzere dört rütbeye ayırır. Bekā ve cem' makāmına tekabül eden ma'rifet rütbesinin ardından gelen tahkîk rütbesi, onun ifadesiyle "hilâfet rütbesi"dir (Fergânî, 2007, c. 1, ss. 144-145). Bu yükselişin en son mertebesi, hilâfetin hakikati olan kutbiyettir.

Şârih kutbiyeti hakîkat-i Muhammediyye'ye vârislikle izah eder. İbnü'l-Arabî'de olduğu gibi Fergânî'de de hakikatte tek bir kutub vardır ve o, Hz. Muhammed'in hakikatidir (Chodkiewicz, 1993, s. 93). Kâmil velî bu hakikate vâris olduğu ölçüde kutbiyet makāmına ulaşır. Fergânî'ye göre nübüvvet, Muhammedî devrin "vasat noktası"nın sahibi olan Hz. Peygamber ile hitama ermiştir. Ondan sonra bu noktaya nüzûl eden kimse nebî ve resûl olarak değil, onun hilâfeti ve niyâbeti hükmüyle kāim olur (Fergânî, 2007, c. 2, s. 189). Fergânî'nin yorumunda şâirin kasîdede dile getirdiği "ben", bu Muhammedî hakikate vâris olmuş velînin "ben"idir.

Şiirde ferdî bir tecrübe gibi görünen ifadeler, bu okuma neticesinde Ekberî mertebeler düzeninin birer ifadesine dönüşür. Kasîde, bir şâirin kişisel aşk tecrübesini anlatan bir metin olmaktan çıkar ve İbnü'l-Arabî'nin velâyet nazariyesinin manzum bir ifadesi olarak okunur. Konevî halkasının *Tâiyye*'ye gösterdiği ilginin başlıca sebeplerinden biri de bu okumanın sağladığı imkândır (Öteleş, 2014, ss. 185-190).

2.4. İki Şerh Arasındaki Farklar

Farsça şerhte anlatım daha muhtasardır ve Konevî'nin ders üslubu daha belirgindir. Fergânî burada beyitleri çoğu zaman kısa açıklamalarla şerh eder ve ıstılahları geniş tariflere girmeden kullanır (Fergânî, 1379 hş., ss. 533-535, 766).

Arapça şerhte ise ıstılahlar çoğalır ve nazarî delillendirme genişler. Fergânî velâyet, kutbiyet ve hakîkat-i Muhammediyye meselelerini burada daha ayrıntılı tariflerle ele alır ve beyitlerin şerhini mukaddimede ortaya koyduğu varlık tasavvuruna daha sıkı bir şekilde bağlar (Fergânî, 2007, c. 1, ss. 18-145; c. 2, ss. 189, 305-307). Nitekim kutbiyet beyitleri Farsça şerhte birkaç paragrafla izah edilirken (Fergânî, 1379 hş., ss. 533-535) Arapça şerhte kutb, gavs, evtâd, ebdâl ve imâmân ıstılahlarının tarifleriyle genişletilmiştir (Fergânî, 2007, c. 2, ss. 75-79). "Ve encümü eflâkî" beyti de Farsça şerhte tek paragrafta (Fergânî, 1379 hş., s. 766), Arapça şerhte ise üç sayfa boyunca şerh edilir (Fergânî, 2007, c. 2, ss. 305-307). Arapça şerhin Farsça şerhe nispetle yaklaşık üçte bir oranında genişletildiği de kaydedilmiştir (Kılıç, 1995, ss. 378-382).

Bu farklılık, Fergânî'nin velâyet anlayışındaki bir değişiklikten ziyâde eserin hitap ettiği çevrenin ve yazıldığı dilin farklılığıyla izah edilebilir. Farsça şerh Konevî'nin derslerine katılan ve Farsça bilen bir çevreye hitap ederken Arapça şerh, Arapça yazan ilim ehline yönelik nazarî bir metin hüviyeti taşır. Her iki şerhte de kutbiyetin hakîkat-i Muhammediyye'ye vârislik ile izahı ve şâirin "ben"inin kâmil velînin "ben"i olarak okunması ortak noktadır.

3. SONUÇ

İbnü'l-Fârız'ın *Tâiyye*'si, İbnü'l-Arabî ile doğrudan bir irtibatı bilinmeyen bir şâirin eseri olmasına rağmen Sadreddîn Konevî'nin dersleri ve Saîdüddîn Fergânî'nin şerhleriyle Ekberî velâyet nazariyesinin bir metni hâline gelmiştir. Fergânî önce Farsça *Meşâriku'd-derârî*'yi yazmış, ardından bu şerhi genişleterek Arapça *Müntehe'l-medârik*'i telif etmiştir.

Fergânî'ye göre kasîdenin ittihâd ve cem' beyitlerinde konuşan, kutbiyet makāmına ermiş kâmil velîdir. Şârih kasîdedeki sülûk merhalelerini İbnü'l-Arabî'nin velâyet tertibine göre sıralar ve kutbiyeti hakîkat-i Muhammediyye'ye vârislikle izah eder. Bu yorum, kasîdeyi hulûl ve ittihad ithamlarına karşı korumuş ve şiirdeki ferdî tecrübe dilini Ekberî mertebeler düzeninin bir ifadesine dönüştürmüştür.

İki şerh arasındaki fark, anlatımın genişliği ve ıstılahların yoğunluğuyla ilgilidir. Farsça şerh

daha muhtasar ve Konevî'nin derslerine daha yakındır. Arapça şerhte ise ıstılahî çerçeve genişlemiş ve nazarî delillendirme derinleşmiştir. Bu farkın sebebi, Fergânî'nin velâyet anlayışındaki bir değişiklikten ziyâde eserlerin hitap ettiği çevre ve yazıldığı dildir.

Neticede İbnü'l-Arabî'nin kozmolojisindeki kutbiyet tasavvuru, Konevî halkasında bir şiir şerhinin anahtarı hâline gelmiş ve kasîdenin Kâşânî, Kayserî ve Nâblusî gibi sonraki şârihlerinin yorumlarında da belirleyici olmaya devam etmiştir. Fergânî'nin bu yorumunun sonraki şerhlere nasıl intikal ettiği, şerhlerin mukayeseli olarak incelenmesini gerektiren ayrı bir çalışmanın konusudur.

KAYNAKÇA

Chittick, W. C. (1992). Spectrums of Islamic thought: Saʿīd al-Dīn Farghānī on the implications of oneness and manyness. L. Lewisohn (Ed.), *The legacy of mediaeval Persian Sufism* içinde (ss. 203-217). Khaniqahi Nimatullahi Publications.

Chodkiewicz, M. (1993). *The seal of the saints: Prophethood and sainthood in the doctrine of Ibn ʿArabī* (L. Sherrard, Çev.). Islamic Texts Society.

Fergânî, S. (1379 hş./2000). *Meşâriku'd-derârî: Şerh-i Tâiyye-i İbn Fârız* (S. C. Âştiyânî, Thk.; 2. bs.). Merkez-i İntişârât-ı Defter-i Tebliğât-ı İslâmî.

Fergânî, S. (2007). *Müntehe'l-medârik fî şerhi Tâiyyeti İbni'l-Fârız* (Â. İ. el-Keyyâlî, Thk.; C. 1-2). Dârü'l-kütübi'l-ilmiyye.

Homerin, T. E. (2001a). *ʿUmar Ibn al-Fāriḍ: Sufi verse, saintly life*. Paulist Press.

Homerin, T. E. (2001b). *From Arab poet to Muslim saint: Ibn al-Fāriḍ, his verse, and his shrine* (2. bs.). American University in Cairo Press.

İbnü'l-Fârız. (2004). *The Dīwān of Ibn al-Fāriḍ: Readings of its text throughout history* (G. Scattolin, Ed.). Institut Français d'Archéologie Orientale.

Kılıç, M. E. (1995). Fergānî, Saîdüddin. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm ansiklopedisi* içinde (C. 12, ss. 378-382). TDV Yayınları.

Öner, Z. (2025). *İbnü'l-Fârız'ın Kasîde-i Tâiyye'sinde seyr u sülûk (Nâblusî şerhi bağlamında)*. Özgür Yayınları.

Öteleş, Z. (2014). Fergânî'nin et-Tâiyyetü'l-kübrâ şerhinde Konevî etkisi. H. Yaşar (Ed.), *II. Uluslararası Sadreddin Konevî Sempozyumu bildirileri* içinde (ss. 185-190). MEBKAM Yayınları.

Öteleş, Z. (2020). Dâvûd el-Kayserî'nin Tâiyye şerhinde "ittihad makāmı". *Tasavvuf İlmî ve Akademik Araştırma Dergisi*, (45), 62-80.

JEOPOLİTİK RİSK VE FİNANSAL KURUMLAR: BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ VE SİGORTACILIK ALANINDAKİ ARAŞTIRMA BOŞLUĞU*

Doç. Dr. M. Hadin ÖNER
Aksaray University, Ortaköy Vocational School, Ortaköy, Aksaray
ORCID ID: 0000-0001-7746-8865
Doç. Dr. Abdullah KILIÇARSLAN
Aksaray University, Eskil Vocational School, Eskil, Aksaray
ORCID ID: 0000-0002-7251-9990
Doç. Dr. Hasan KAZAK
Necmettin Erbakan University, Department of Banking and Finance, Meram, Konya
ORCID ID: 0000-0003-0699-5371
Prof. Dr. Ahmet Tayfur AKCAN
Necmettin Erbakan University, Department of International Trade and Finance, Meram, Konya
ORCID ID: 0000-0001-8210-7327

ÖZET
Jeopolitik risk, son yıllarda finans literatüründe en çok ele alınan konular arasındadır. Bu çalışmada jeopolitik risk ile finansal kurumlar arasındaki ilişkiyi inceleyen literatürün gelişimi ortaya konulmaktadır. Veriler 20 Ekim 2026 tarihinde Web of Science Core Collection dizininden alınmıştır. Veri seti 2007–2026 dönemine ait 374 İngilizce makale ve derlemeden oluşmaktadır. Performans analizi ve bilim haritalaması R ortamında bibliometrix paketiyle yapılmıştır. Yayınların %94'ü 2022 ve sonrasına aittir. En çok yayının yer aldığı dergi Finance Research Letters, en üretken ülke ise Çin'dir. Sorumlu yazar ülkesine göre Türkiye ikinci sıradadır. Anahtar kelime analizinde dört küme elde edilmiştir. Bunlar finansal istikrar ve bankacılık, yayılım ve dinamik bağlantılılık, finansal gelişme ve sürdürülebilirlik ile makroekonomik politika kümeleridir. Ortak atıf analizine göre alanın temel referansı Caldara ve Iacoviello'nun (2022) geliştirdiği jeopolitik risk endeksidir. Bankacılık yayınların %56'sında konu edilirken sigortacılığın payı %10 civarındadır. Sigortacılıkla ilgili çalışmalar genellikle ülke düzeyinde prim ve talep analizleri üzerinde durmaktadır. Sigorta şirketlerini firma düzeyinde ele alacak çalışmaların alana önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar, sigortacılık alanında yapılacak çalışmalar için bir başlangıç noktası sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Jeopolitik risk, finansal kurumlar, bankacılık, sigortacılık, bibliyometrik analiz

GEOPOLITICAL RISK AND FINANCIAL INSTITUTIONS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS AND THE RESEARCH GAP IN INSURANCE

ABSTRACT
Geopolitical risk has become one of the most frequently discussed topics in the finance literature in recent years. This study examines the development of the literature on the relationship between geopolitical risk and financial institutions. The data were retrieved from the Web of Science Core Collection on October 20, 2026. The dataset consists of 374 English-

* Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2026-045 numaralı "Jeopolitik Riskin Sigorta Şirketlerinin Finansal Performansı Üzerindeki Etkisi: Küresel Firma Düzeyinde Panel Veri Analizi" başlıklı projenin bir çıktısıdır.

language articles and reviews published between 2007 and 2026. Performance analysis and science mapping were conducted with the bibliometrix package in R. Ninety-four percent of the publications appeared in 2022 or later. Finance Research Letters is the journal with the most publications, and China is the most productive country. Türkiye ranks second by corresponding author country. The keyword analysis identified four clusters. These are financial stability and banking, spillover and dynamic connectedness, financial development and sustainability, and macroeconomic policy. According to the co-citation analysis, the core reference of the field is the geopolitical risk index developed by Caldara and Iacoviello (2022). Banking is addressed in 56% of the publications, whereas insurance appears in only about 10%. Insurance studies mostly analyse premiums and demand at the country level. Firm-level studies on insurance companies are expected to make an important contribution to the field. These results provide a starting point for future research on insurance.
Keywords: Geopolitical risk, financial institutions, banking, insurance, bibliometric analysis

1. GİRİŞ

Son on yılda Brexit, ABD–Çin ticaret gerilimleri, Rusya–Ukrayna Savaşı ve Orta Doğu'daki çatışmalar finansal piyasaları doğrudan etkilemiştir. Savaş, terör, ticari krizler ve yaptırımlar belirsizliği artırmaktadır (Caldara ve Iacoviello 2022). Artan belirsizlik sermaye akımlarına, kredi kanallarına ve yatırım kararlarına yansımaktadır. Riski üstlenen ve fiyatlayan finansal kurumlar da bu süreçten önemli ölçüde etkilenmektedir.

Jeopolitik riskin ölçülmesi literatürde uzun süre bir sorun olarak kalmıştır. Caldara ve Iacoviello (2022), önde gelen gazetelerde jeopolitik gerilimlere ilişkin haberlerin sıklığını esas alarak bir jeopolitik risk (GPR) endeksi geliştirmiştir. Bu endeks kısa sürede alanın standart ölçütü hâline gelmiş ve GPR'nin etkilerini inceleyen çalışmalar hızla artmıştır. Söz konusu çalışmalar başta makroekonomi (Clance vd. 2019) ve banka istikrarı (Phan vd. 2022; Olalere ve Mukuddem-Petersen 2024; Wu vd. 2026) olmak üzere banka kredileri ve finansal stres (Demir ve Danışman 2021; Nguyen ve Thuy 2023; Liu vd. 2024; De Luca vd. 2025) ile kurumsal kararlar (Lee ve Wang 2021; Nguyen vd. 2026) gibi farklı alanlara yayılmaktadır. Borsa dinamikleri (Lai vd. 2025; Chen vd. 2026; Gabriel vd. 2026) ve emtia fiyatları (Bouoiyour vd. 2019; Triki ve Ben Maatoug 2021; Kotsompolis vd. 2025; Braiek vd. 2026) üzerine yapılan çalışmalar da bu literatürün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Sigorta şirketleri jeopolitik risklerden iki yönden etkilenmektedir. Bunlardan ilki yükümlülük tarafıdır. Terör, savaş ve siyasi gerilim gibi olaylar hasar taleplerini artırmakta ve aktüeryal fiyatlamada belirsizlik doğurmaktadır. İkincisi ise varlık tarafıdır. Sigorta şirketlerinin yatırım portföyleri jeopolitik şoklardan etkilenmekte ve değer kaybedebilmektedir (Puławska vd. 2026). Bu yönüyle sigorta şirketleri bankalardan farklı bir risk yapısına sahiptir.

Buna rağmen sigortacılık GPR literatüründe sınırlı ilgi görmüştür. Mevcut çalışmalar çoğunlukla ülke düzeyinde prim hacmini ve sigorta talebini incelemektedir. Lee ve Lee (2020) BRICS ülkelerinde sigorta faaliyeti, reel hasıla ve GPR arasındaki nedensellik ilişkilerini araştırmıştır. Olasehinde-Williams ve Balcilar (2022) 18 ülkelik bir panelde GPR'nin sigorta primlerini artırdığını bulmuştur. Firma düzeyindeki çalışmalar ise sigorta şirketlerini değil, sigorta satın alan firmaları ele almaktadır (Zhou vd. 2025). D'Apolito vd. (2026) Scopus verileriyle yaptıkları bibliyometrik incelemede bankacılık ve sigortacılığa odaklanan 78 çalışma tespit etmiştir. Bunların yalnızca 10'u sigortacılıkla ilgilidir. Yazarlar, sigortacılığa ilişkin kanıtların bankacılığa göre sınırlı kaldığını vurgulamaktadır. Sigorta şirketlerinin kârlılığını küresel ölçekte ve firma düzeyinde inceleyen bir çalışmaya ise rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, GPR ile finansal kurumlar arasındaki ilişkiyi ele alan literatürü

bibliyometrik yöntemle haritalamak ve sigortacılığın bu literatürdeki yerini belirlemektir. Çalışma, D'Apolito vd. (2026) çalışmasını iki noktada tamamlamaktadır. İlk olarak veriler Web of Science Core Collection dizininden alınmış ve konu alanı sınırlaması yapılmamıştır. İkinci olarak sigortacılıktaki boşluk, analiz düzeyi ve örneklem bakımından ayrıntılı biçimde ortaya konulmuştur. Bulgular Türkiye'nin bu literatürdeki konumunu da göstermektedir.

Çalışma, jeopolitik riskin sigorta şirketlerinin finansal performansına etkisini firma düzeyinde inceleyen Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2026-045 numaralı projesinin çıktılarından biridir. Bu çalışmayla projenin literatür taramasına sistematik bir temel kazandırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde kavramsal çerçeve, üçüncü bölümünde yöntem, dördüncü bölümünde ise bulgular yer almaktadır. Son bölümde sonuçlar tartışılmış ve öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Caldara ve Iacoviello (2022) jeopolitik riski, devletler, siyasi aktörler veya terör örgütleri arasındaki savaş, terör ve gerilim olaylarına ilişkin tehdit ve bu tehditlerin gerçekleşmesi olarak tanımlamaktadır. Endeksin tehdit (GPRT) ve eylem (GPRA) olmak üzere iki alt endeksi bulunmaktadır. Endeksin 44 ülke için ülkeye özgü değerleri (GPRC) de yayımlanmaktadır. Böylece küresel şokların ve ülkeye özgü gerilimlerin etkileri ayrı ayrı test edilebilmektedir.

Literatürde GPR'nin finansal kurumlara etkisi belirsizlik yaklaşımıyla açıklanmaktadır. Bernanke (1983) ve Bloom (2009), belirsizlik arttığında yatırım ve harcamaların ertelendiğini ortaya koymuştur. Baker vd. (2016) tarafından geliştirilen ekonomik politika belirsizliği endeksi de bu alanda sıkça kullanılmaktadır. Bankacılıkta GPR'nin etkisi kredi arzının daralması, maliyetlerin artması ve finansal istikrarın zayıflaması şeklinde görülmektedir (Demir ve Danışman 2021; Phan vd. 2022; Nguyen ve Thuy 2023).

Sigortacılıkta ise etkiler farklılaşmaktadır. GPR artışı sigorta talebini ve primleri yükseltebilmektedir (Olasehinde-Williams ve Balcilar 2022; Zhou vd. 2025). Buna karşılık hasar belirsizliği fiyatlamayı zorlaştırmakta, piyasa şokları da yatırım gelirlerini baskılamaktadır. Bu iki etkinin sigorta şirketlerinin kârlılığına nasıl yansıdığı ise henüz açıklığa kavuşmamıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Kaynağı ve Tarama Stratejisi

Bibliyometrik analiz, yayınları sayısal göstergeler ve ağ ilişkileri üzerinden inceleyen bir yöntemdir (Zupic ve Čater 2015). Donthu vd. (2021) bu yöntemi performans analizi ve bilim haritalaması olarak ikiye ayırmaktadır. Çalışmanın verileri, dergi kalitesi ve kaynakça kapsamı nedeniyle tercih edilen Web of Science Core Collection'dan (WoS) elde edilmiştir. Tarama, 20 Ekim 2026 tarihinde WoS'un Topic alanında (başlık, özet, yazar anahtar kelimeleri ve Keywords Plus) gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sorgu aşağıda verilmiştir:

("geopolitical risk*" OR "geopolitical uncertaint*" OR "geopolitical tension*" OR "geopolitical conflict*" OR "GPR index") AND (insurance OR insurer* OR reinsur* OR takaful OR bank* OR "financial institution*" OR "financial stability" OR "financial system*")

Sorgu, jeopolitik risk kavramını sigorta, reasürans, tekafül, bankacılık ve finansal istikrar kavramlarıyla birleştirmektedir. Yalnızca sigortacılık terimlerini içeren dar kapsamlı bir sorgu 35 çalışma ile sonuçlanmıştır. Bu sayı ağ analizi için yeterli görülmediğinden sigortacılık, finansal kurumlar literatürünün bir parçası olarak incelenmiştir.

3.2. Veri Setinin Oluşturulması

İlk taramada 399 kayda ulaşılmıştır. Belge türü "Article" ve "Review Article", dil ise İngilizce ile sınırlandırıldığında kayıt sayısı 375'e düşmüştür. Geri çekilmiş (retracted) bir yayın çıkarılarak 374 yayınlık nihai veri seti oluşturulmuştur. Kayıtlar "Full Record and Cited

References” biçiminde indirilmiştir. Anahtar kelime ağında tekil-çoğul biçimler ve eş anlamlı ifadeler birleştirilmiştir. Örneğin “geopolitical risks” ve “GPR” ifadeleri “geopolitical risk” altında toplanmıştır. JEL kodları analize dâhil edilmemiştir.

3.3. Analiz Teknikleri

Analizler R ortamında bibliometrix paketiyle yapılmıştır (Aria ve Cuccurullo 2017). Performans analizinde yıllık yayın sayısı, dergi, yazar ve ülke verimliliği ile atıf göstergeleri hesaplanmıştır. Bilim haritalamasında iki teknik kullanılmıştır. Bunlardan ilki anahtar kelime birlikteliği analizidir (Callon vd. 1991). Bu analizde aynı yayında birlikte geçen yazar anahtar kelimeleri esas alınmıştır. Ağa en sık kullanılan 40 kelime dâhil edilmiş, bağlantılar “association” ölçütüyle normalleştirilmiştir. İkinci teknik ortak atıf analizidir (Small 1973). Bu analizde iki kaynak aynı yayında birlikte atıf aldığında aralarında bağ kurulmaktadır. Ağda en çok atıf alan 40 kaynak kullanılmıştır. Her iki ağda kümeler Louvain algoritmasıyla belirlenmiştir (Blondel vd. 2008). Son olarak başlık, özet ve anahtar kelimeler taranarak sigortacılık ve bankacılık konulu yayınlar ayrıca belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Veri Setinin Genel Görünümü

Veri setinin temel göstergeleri Tablo 1’de verilmiştir. Veri setindeki 374 yayın 200 farklı dergide yayımlanmıştır. Yayınlar 79 ülkeden 1.044 yazara aittir. Yayın başına ortalama 3,01 yazar düşmektedir. Tek yazarlı yayın sayısı 52’dir. Yayınların %41,98’i uluslararası ortak yazarlıkla üretilmiştir. Ortalama yayın yaşının 1,52 yıl olması alanın oldukça yeni olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Veri Setinin Temel Göstergeleri

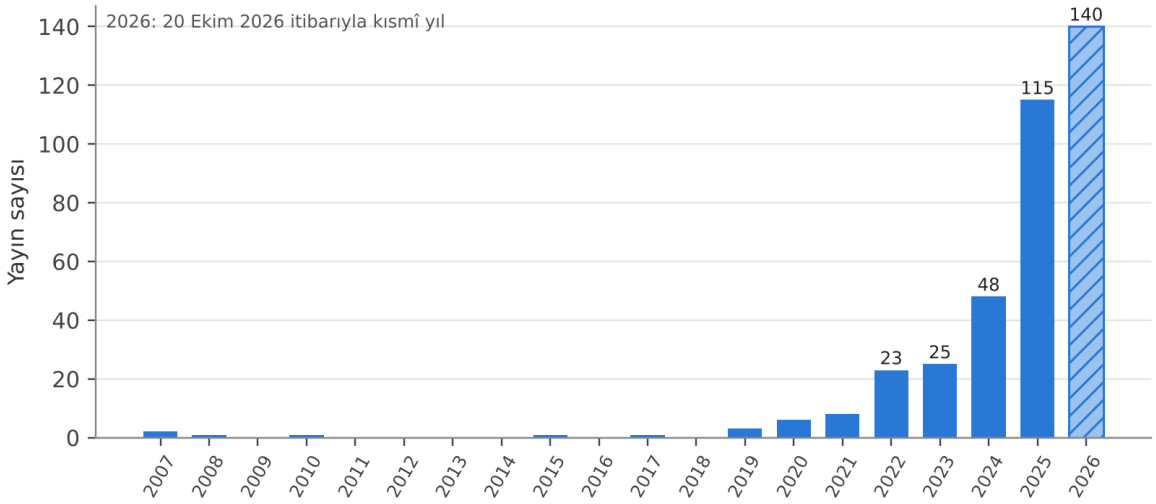
Gösterge	Değer
Kapsanan dönem	2007–2026
Yayın sayısı (makale / derleme)	374 (367 / 7)
Dergi sayısı	200
Yazar sayısı	1.044
Tek yazarlı yayın sayısı	52
Yayın başına ortalama yazar sayısı	3,01
Uluslararası ortak yazarlık oranı	%41,98
Ülke sayısı	79
Yazar anahtar kelimesi (DE) / Keywords Plus (ID) sayısı	1.367 / 579
Atıf yapılan kaynak sayısı	17.966
Toplam atıf sayısı	3.973
Yayın başına ortalama atıf	10,62
Ortalama yıllık atıf (yayın başına)	3,35
Yıllık büyüme oranı (2007–2026)	%25,06
Yayınların ortalama yaşı (yıl)	1,52

Kaynak: WoS Core Collection verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Atıf sayıları 20.10.2026 tarihi itibarıyladır.

4.2. Yıllık Yayın Üretimi

Şekil 1’de yayınların yıllara göre dağılımı yer almaktadır. Buna göre 2007–2018 döneminde

yalnızca altı yayın bulunmaktadır. Caldara ve Iacoviello'nun endeksi 2018'de çalışma metni olarak yayımlandıktan sonra yayın sayısı artmaya başlamıştır. Endeksin 2022'de American Economic Review'da yayımlanması ve aynı yıl başlayan Rusya–Ukrayna Savaşı ile bu artış hızlanmıştır. Yayın sayısı 2022'de 23, 2023'te 25, 2024'te 48, 2025'te ise 115'tir. Yayın sayısı 2026'nın ilk on ayında 140'a ulaşmıştır. Bibliometrix'in hesapladığı yıllık büyüme oranı %25,06'dır. Ancak yayınların %93,9'u 2022 ve sonrasına ait olduğundan bu oran son yıllardaki sıçramayı tam olarak yansıtmamaktadır.



Şekil 1. Yıllara Göre Yayın Sayısı (2026 yılı kısmî veridir)

4.3. En Verimli Dergiler

Şekil 2'de en çok yayının yer aldığı on dergi gösterilmektedir. Finance Research Letters 27 yayın ve 683 atıfla ilk sıradadır. Bu dergiyi International Review of Economics & Finance (12), Resources Policy (8) ve Research in International Business and Finance (8) izlemektedir. Resources Policy'deki sekiz yayının 405 atıf alması, enerji ve doğal kaynak odaklı çalışmaların yüksek atıf aldığını göstermektedir. İlk on dergi arasında sigortacılığa özgü bir dergi bulunmamaktadır. Sigorta yayınları The Geneva Papers on Risk and Insurance ve Risks gibi dergilere dağılmış durumdadır.



Şekil 2. En Çok Yayın Yapan On Dergi

4.4. En Çok Atıf Alan Çalışmalar

En çok atıf alan on çalışma Tablo 2'de listelenmiştir. İlk sırada 207 atıfla Fang ve Shao (2022) yer almaktadır. Bu çalışma Rusya–Ukrayna çatışmasının emtia piyasalarındaki oynaklık riskine etkisini incelemektedir. Phan vd. (2022) 170 atıfla ikinci sıradadır. Yazarlar GPR'nin banka istikrarını zayıflattığını göstermiştir. Bu çalışma bankacılık alanında temel referans konumundadır. Demir ve Danışman (2021) ile Nguyen ve Thuy (2023) da GPR'nin banka kredisi ve kredi maliyeti üzerindeki etkisini ele almaktadır. Listede enerji dönüşümü ve doğal kaynak konulu çalışmalar da yer almaktadır (Su vd. 2020; Bashir vd. 2023; Lee vd. 2023). İlk on çalışma arasında sigortacılığa odaklanan bir yayın bulunmamaktadır.

Tablo 2. En Çok Atıf Alan On Çalışma

Yazar(lar)	Yıl	Başlık	Dergi	Atıf	Yıllık Ort.
Fang ve Shao	2022	The Russia-Ukraine conflict and volatility risk of commodity markets	Finance Research Letters	207	41,4
Phan vd.	2022	Geopolitical risk and bank stability	Finance Research Letters	170	34,0
Lee vd.	2023	The impact of regional renewable energy development on environmental sustainability in China	Resources Policy	141	35,3
Su vd.	2020	A review of resource curse burden on inflation in Venezuela	Energy	119	17,0
Bashir vd.	2023	Energy transition, natural resource consumption and environmental degradation: The role of geopolitical risk in sustainable development	Resources Policy	109	27,3
Demir ve Danışman	2021	The impact of economic uncertainty and geopolitical risks on bank credit	North American Journal of Economics and Finance	109	18,2
Salisu vd.	2022	Historical geopolitical risk and the behaviour of stock returns in advanced economies	European Journal of Finance	104	20,8

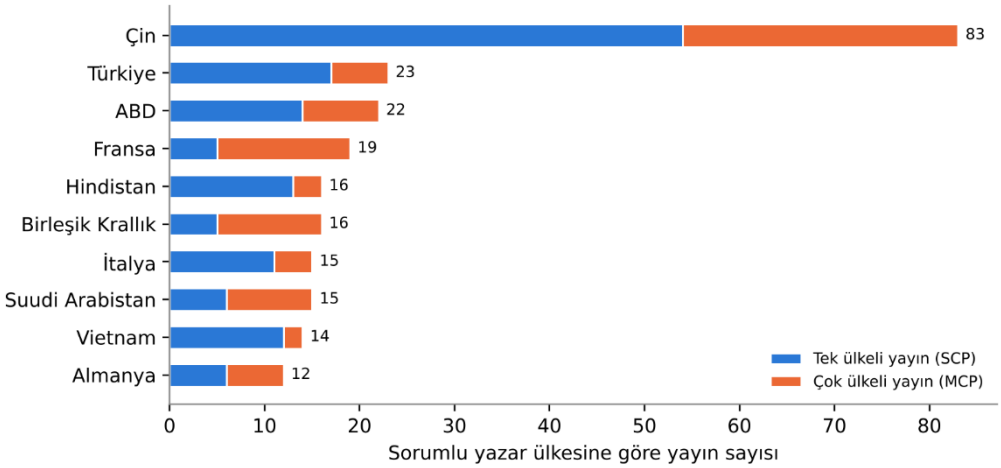
Yazar(lar)	Yıl	Başlık	Dergi	Atıf	Yıllık Ort.
Nguyen ve Thuy	2023	Geopolitical risk and the cost of bank loans	Finance Research Letters	89	22,3
Alami vd.	2022	Geopolitics and the 'new' state capitalism	Geopolitics	72	14,4
Nguyenhuu ve Örsal	2024	Geopolitical risks and financial stress in emerging economies	World Economy	70	23,3

Not: Yıllık ortalama, toplam atıf sayısının yayın yılı dâhil 2026 yılına kadar geçen yıl sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

4.5. Ülke ve Yazar Verimliliği

Şekil 3'te sorumlu yazar ülkesine göre ilk on ülke yer almaktadır. Grafikte tek ülkeli (SCP) ve çok ülkeli (MCP) yayınlar ayrı gösterilmiştir. Çin 83 yayın ve 1.399 atıfla açık biçimde öndedir. Türkiye, 23 yayın ve 206 atıfla ikinci sırada yer almaktadır. ABD (22), Fransa (19), Hindistan ve Birleşik Krallık (16) Türkiye'yi izlemektedir. Bu sonuç, Türk araştırmacıların alana katkısını ortaya koymaktadır. Ancak Türkiye'nin uluslararası ortak yayın oranı %26,1'de kalmaktadır. Bu oran Fransa'da %73,7, Birleşik Arap Emirlikleri'nde %70,0 ve Birleşik Krallık'ta %68,8'dir.

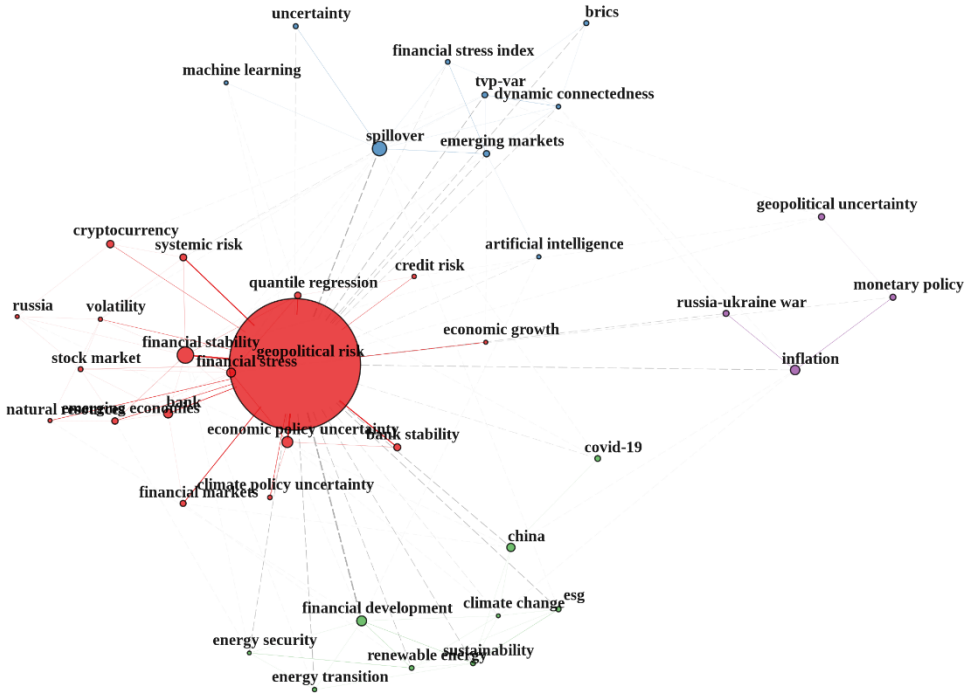
En çok yayını olan yazar Lee, C.C.'dir (7 yayın). Onu Tabash, M.I. (5) ve Hoque, M.E. (4) izlemektedir. En üretken yazarların yayın sayılarının sınırlı kalması, alanda henüz güçlü bir yazar grubunun oluşmadığını göstermektedir.



Şekil 3. Sorumlu Yazar Ülkesine Göre En Verimli On Ülke

4.6. Anahtar Kelime Birlikteliği Analizi

Şekil 4'te en sık kullanılan 40 yazar anahtar kelimesinin birliktelik ağı yer almaktadır. Düğüm büyüklüğü kullanım sıklığını, çizgi kalınlığı ise birlikte geçme sayısını göstermektedir. Ağın merkezinde "geopolitical risk" (173) bulunmaktadır. Onu "financial stability" (21), "spillover" (17) ve "economic policy uncertainty" (14) izlemektedir. Louvain algoritması dört küme belirlemiştir (Tablo 3).



Şekil 4. Yazar Anahtar Kelimelerinin Birliktelik Ağı

Tablo 3. Anahtar Kelime Kümeleri ve Temaları

Küme	Tema	Öne çıkan anahtar kelimeler
1 (kırmızı)	Finansal istikrar, bankacılık ve piyasa riski	geopolitical risk, financial stability, economic policy uncertainty, financial stress, systemic risk, quantile regression, emerging economies, bank, volatility, bank stability, financial markets, stock market, cryptocurrency, credit risk
2 (mavi)	Yayılım ve dinamik bağlantılılık	spillover, TVP-VAR, emerging markets, dynamic connectedness, financial stress index, BRICS, artificial intelligence, machine learning
3 (yeşil)	Finansal gelişme, sürdürülebilirlik ve enerji	financial development, sustainability, renewable energy, China, ESG, energy security, climate change, energy transition, COVID-19
4 (mor)	Makroekonomik politika ve savaş	inflation, Russia–Ukraine war, monetary policy, geopolitical uncertainty

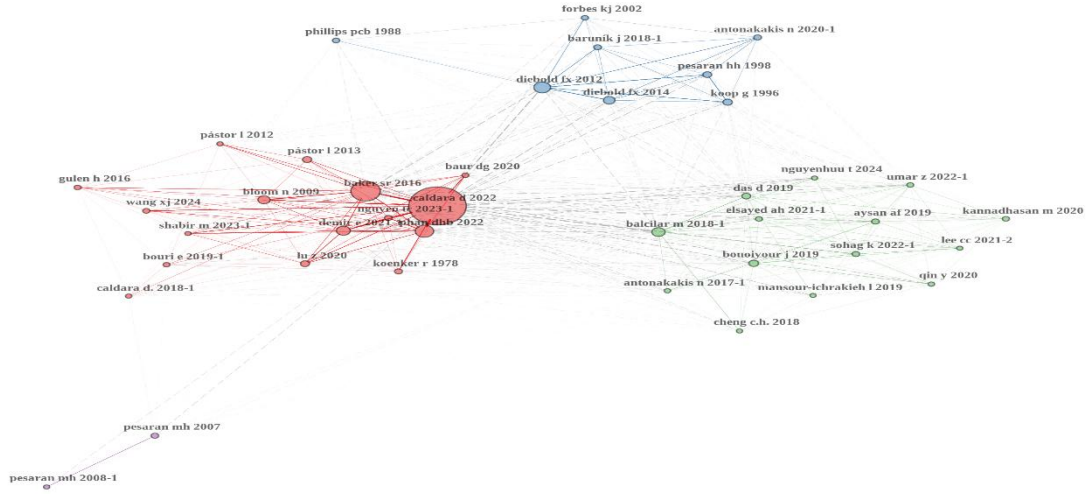
Birinci küme literatürün ana gövdesini oluşturmaktadır. Bu kümede GPR'nin banka istikrarı, kredi riski, sistemik risk ve finansal stres üzerindeki etkileri incelenmektedir. Hisse senedi ve kripto para oynaklığı da öne çıkarken kantil regresyon kullanımı etkilerin farklı düzeylerde ele alındığını göstermektedir. İkinci küme ise yöntem odaklıdır. Burada jeopolitik şokların piyasalar arasındaki yayılımı TVP-VAR ve dinamik bağlantılılık yöntemleriyle analiz edilmektedir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi kavramları da bu kümede görülmektedir. Üçüncü küme finansal gelişme, ESG ve enerji dönüşümü etrafında sürdürülebilirlik konusunu işlemektedir. Dördüncü küme ise Rusya–Ukrayna Savaşı'nın enflasyon ve para politikası üzerindeki etkisine odaklanmaktadır.

Sigortacılıkla ilgili hiçbir kavram ilk 40 anahtar kelime arasına girememiştir. "Insurance" kelimesi yalnızca dört yayında geçmekte ve eş anlamlılar birleştirildikten sonra kalan 1.261 kelime arasında 48. sırada yer almaktadır. "Insurance premiums", "insurance demand", "war-risk insurance" ve "non-life insurance" ifadeleri birer kez kullanılmıştır. Buna karşılık "bank"

ve “bank stability” ağda ayrı düğümler olarak bulunmaktadır.
Dönemlere göre yapılan analiz de benzer bir tablo ortaya koymaktadır. 2007–2021 döneminde finansal stres, BRICS bloğu ve yaptırımlar temel temalar olarak öne çıkmaktadır. Bunu izleyen dönemde (2022–2023) ise Çin’deki ekonomi politikası belirsizliği ve doğal kaynaklar merkezî bir yer tutmuştur. Üçüncü dönemde (2024) finansal istikrar ve kripto paralar öne çıkmıştır. Son dönemde (2025–2026) ise en sık kullanılan terimler finansal istikrar (14), yayılım (13), finansal gelişme (11) ve kantil regresyon (9) olmuştur. Buna göre akademik ilgi piyasa dinamiklerinden kurumsal istikrara doğru kaymaktadır. Ancak bu geçiş büyük ölçüde bankacılık üzerinden gerçekleşmiş, sigortacılık bu eğilimin dışında kalmıştır.

4.7. Ortak Atıf Analizi

Ortak atıf analizi alanın dayandığı temel çalışmaları ortaya koymaktadır. En çok atıf alan kaynak Caldara ve Iacoviello’dur (2022). Veri setindeki 374 yayının 168’inde (%44,9) bu çalışmaya atıf yapılmıştır. Sıralamada bu çalışmayı Baker vd. (2016) 75, Phan vd. (2022) 52, Diebold ve Yılmaz (2012) 40, Demir ve Danışman (2021) ise 36 yerel atıfla izlemektedir. Şekil 5’te en çok atıf alan 40 kaynağın ortak atıf ağı verilmiştir.



Şekil 5. Ortak Atıf Ağı (en az iki ortak atıflı bağlantılar gösterilmiştir)

Ağda dört küme bulunmaktadır. Birinci küme (kırmızı) belirsizliğin ölçümü ve kuramına ilişkin temel çalışmaları içermektedir. Caldara ve Iacoviello (2022), Baker vd. (2016), Bloom (2009) ile Pástor ve Veronesi (2013) bu kümededir. Phan vd. (2022), Demir ve Danışman (2021) ile Nguyen ve Thuy (2023) gibi bankacılık çalışmaları da aynı kümede yer almaktadır. Bu nedenle birinci küme alanın kuramsal ve ampirik çekirdeğini oluşturmaktadır. İkinci küme (mavi) yöntem çalışmalarından oluşmaktadır. Diebold ve Yılmaz (2012, 2014), Koop vd. (1996) ile Pesaran ve Shin (1998) yayılım ve bağlantılılık ölçümünün temel kaynaklarıdır. Üçüncü küme (yeşil) erken dönem ampirik çalışmaları kapsamaktadır. Antonakakis vd. (2017), Balcilar vd. (2018), Bouoiyour vd. (2019) ve Aysan vd. (2019) GPR’nin hisse senedi, petrol ve kripto para piyasalarına etkisini incelemiştir. Dördüncü küme (mor) iki çalışmadan ibarettir. Bu küme ülke düzeyindeki panel çalışmalarında ikinci nesil testlerin kullanımına işaret etmektedir. En çok atıf alan 40 kaynak arasında sigortacılıkla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

4.8. Sigortacılık Alanının Konumu

Başlık, özet ve anahtar kelimeler tarandığında bankacılığın 211 yayında (%56,4) geçtiği görülmektedir. Sigortacılık ise yalnızca 36 yayında (%9,6) geçmektedir. Başlığında veya anahtar kelimelerinde sigortaya yer veren yayın sayısı 16’dır (%4,3). Bu yayınların bir kısmında sigorta yalnızca mecazi anlamda ya da yan konu olarak kullanılmıştır. GPR ile sigortacılık

ilişkisini doğrudan inceleyen çalışmalar Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Jeopolitik Risk ve Sigortacılık İlişkisini İnceleyen Başlıca Çalışmalar

Çalışma	Örneklem	Analiz düzeyi	Bağımlı değişken	Temel bulgu
Lee ve Lee (2020)	BRICS, 1985–2017	Ülke	Sigorta primleri	GPR'den sigorta faaliyetine doğru, ülkelere ve kantillere göre farklılaşan nedensellik
Hemrit ve Nakhli (2021)	14 ülke, 2000–2019	Ülke	Sigorta primleri	GPR'nin primler üzerinde asimetrik ve doğrusal olmayan etkisi
Hemrit (2022)	Suudi Arabistan, 2013–2019	Şirket (tek ülke)	Sigorta talebi	GPR'nin talep üzerinde kısa dönemli olumsuz etkisi
Olasehinde-Williams ve Balcilar (2022)	18 ülke	Ülke	Hayat ve hayat dışı primler	GPR primleri artırmakta, etki hayat dışı branşta daha güçlü
Xiang vd. (2023)	Çin	Ülke	Hayat sigortası primleri	Üst kantillerde GPR'nin olumsuz etkisi
Zhang vd. (2024)	ABD, sigorta ve banka	Sektör	Temerrüt bağımlılığı	Küresel GPR ile sigorta–banka temerrüt bağımlılığı arasında ters ilişki
Zhou vd. (2025)	Çin, halka açık firmalar	Firma (sigortalı)	Kurumsal sigorta alımı	GPR firmaların mülk sigortası talebini artırmakta
Li vd. (2025)	Çin, halka açık firmalar	Firma (sigortalı)	Yönetici sorumluluk sigortası talebi	Algılanan belirsizlik sigorta talebini artırmakta

Tablo 4'e göre mevcut çalışmaların iki önemli sınırlılığı bulunmaktadır. Birincisi analiz düzeyiyle ilgilidir. Çalışmaların çoğu ülke düzeyinde toplam prim hacmini veya sigorta talebini incelemektedir. Sigorta şirketlerini jeopolitik riske maruz kalan finansal kurumlar olarak ele alan çalışma sayısı oldukça azdır. Hemrit (2022) tek bir ülkedeki şirket verileriyle sigorta talebini incelemiştir. Puławska vd. (2026) ise sigorta şirketlerini hisse senedi fiyatları üzerinden ele almıştır. Zhou vd. (2025) ile Li vd. (2025) da firma düzeyinde çalışmıştır. Ancak bu iki çalışma sigorta şirketlerini değil, sigorta satın alan firmaları incelemektedir. İkinci sınırlılık örneklemle ilgilidir. Çalışmalar tek bir ülke veya küçük bir ülke grubuyla sınırlı kalmaktadır. Veri setinde GPR'nin sigorta şirketlerinin kârlılığı, sermaye yeterliliği veya finansal performansı üzerindeki etkisini çok ülkeli ve firma düzeyinde inceleyen bir çalışma yer almamaktadır. Phan vd. (2022) bu analizi banka istikrarı için yapmıştır. Sigortacılıkta ise benzer bir çalışmaya henüz rastlanmamaktadır.

Bu bulgu D'Apolito vd. (2026) çalışmasıyla örtüşmektedir. Scopus verilerine dayanan söz konusu çalışmada da sigortacılığın payı bankacılığın çok gerisinde kalmıştır. İki farklı dizinde benzer bir tablonun ortaya çıkması, sigortacılıktaki boşluğun veri kaynağından bağımsız olduğuna işaret etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GPR ile finansal kurumlar arasındaki ilişkiyi ele alan 374 yayın bibliyometrik yöntemle incelenmiştir. Literatürün, Caldara ve Iacoviello (2022) endeksinin yaygınlaşması ve Rusya–Ukrayna Savaşı ile birlikte 2022'den sonra hızla büyüdüğü görülmektedir. Yayınların yaklaşık %94'ünün son beş yılda yayımlanmış olması alanın henüz çok yeni olduğunu göstermektedir. Finance Research Letters alanın merkez dergisi konumundadır. Çin en üretken ülke olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin ikinci sırada yer alması Türk araştırmacıların konuya

ilgisini yansıtmaktadır. Ancak Türkiye'nin uluslararası iş birliği oranı düşüktür.

Literatür dört tematik kümede toplanmaktadır. Bunlar finansal istikrar ve bankacılık, yayılım ve dinamik bağlantılılık, finansal gelişme ve sürdürülebilirlik ile makroekonomik politikadır. Çalışmanın temel bulgusu, jeopolitik risk ile sigortacılık arasındaki ilişkide önemli bir araştırma boşluğunun bulunmasıdır. Mevcut çalışmalar büyük ölçüde ülke düzeyindeki sigorta primleri ve sigorta talebi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Sigorta şirketleri ise jeopolitik risklere maruz kalan finansal kurumlar olarak firma düzeyinde yeterince ele alınmamıştır. Bu değerlendirme Scopus verilerine dayanan D'Apolito vd. (2026) çalışmasındaki bulgularla örtüşmektedir. Bu boşluğu gidermeye yönelik olarak gelecekteki araştırmalar için şu öneriler sunulabilir. Öncelikle jeopolitik riskin sigorta şirketlerinin aktif ve özkaynak kârlılığı üzerindeki etkisi çok ülkeli ve firma düzeyinde panel verilerle incelenmelidir. İkinci olarak küresel jeopolitik riskler ile ülkeye özgü jeopolitik risklerin etkilerinin tek bir model içerisinde karşılaştırılması önem taşımaktadır. Ayrıca "tehdit" (GPRT) ve "eylem" (GPRA) alt endekslerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi, riskin çeşitli boyutlarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Son olarak hayat, hayat dışı, reasürans ve tekafül şirketlerinin jeopolitik risklere verdiği tepkiler karşılaştırılarak sektör içindeki farklılıklar belirlenebilir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Veri seti yalnızca WoS Core Collection'daki İngilizce makale ve derlemelerden oluşmaktadır. Scopus gibi diğer dizinler ve farklı dillerdeki yayınlar kapsam dışında kalmıştır. Bununla birlikte Scopus temelli D'Apolito vd. (2026) çalışmasının bulguları bu sınırlılığı kısmen dengelemektedir. Sorguda "financial system" gibi geniş ifadeler kullanıldığından enerji ve çevre ekonomisi alanından bazı yayınlar da veri setine girmiştir. Ayrıca yeni yayınların atıf sayıları henüz istikrar kazanmamıştır. Sonraki çalışmalarda farklı dizinlerdeki veriler birleştirilebilir. Konu, sistematik literatür taraması ve içerik analiziyle derinleştirilebilir.

KAYNAKÇA

Alami I, Dixon AD, Gonzalez-Vicente R, Babić M, Lee SO, Medby IA, de Graaff N. (2022). Geopolitics and the 'new' state capitalism. Geopolitics 27(3), 995–1023.

Antonakakis N, Gupta R, Kollias C, Papadamou S. (2017). Geopolitical risks and the oil-stock nexus over 1899–2016. Finance Research Letters 23, 165–173.

Aria M, Cuccurullo C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics 11(4), 959–975.

Aysan AF, Demir E, Gozgor G, Lau CKM. (2019). Effects of the geopolitical risks on Bitcoin returns and volatility. Research in International Business and Finance 47, 511–518.

Baker SR, Bloom N, Davis SJ. (2016). Measuring economic policy uncertainty. The Quarterly Journal of Economics 131(4), 1593–1636.

Balcilar M, Bonato M, Demirer R, Gupta R. (2018). Geopolitical risks and stock market dynamics of the BRICS. Economic Systems 42(2), 295–306.

Bashir MF, Shahbaz M, Malik MN, Ma B, Wang J. (2023). Energy transition, natural resource consumption and environmental degradation: The role of geopolitical risk in sustainable development. Resources Policy 85, 103985.

Bernanke BS. (1983). Irreversibility, uncertainty, and cyclical investment. The Quarterly Journal of Economics 98(1), 85–106.

Blondel VD, Guillaume JL, Lambiotte R, Lefebvre E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment 2008(10), P10008.

Bloom N. (2009). The impact of uncertainty shocks. Econometrica 77(3), 623–685.

Bouoiyour J, Selmi R, Hammoudeh S, Wohar ME. (2019). What are the categories of geopolitical risks that could drive oil prices higher? Acts or threats? Energy Economics 84,

104523.
Braiek S, Alsagr N, Syed AA, Jeribi A. (2026). Waves of uncertainty: Crude oil under geopolitical, economic, and ESG turbulence. Energy Science & Engineering 14(3), 1258–1272.
Caldara D, Iacoviello M. (2022). Measuring geopolitical risk. American Economic Review 112(4), 1194–1225.
Callon M, Courtial JP, Laville F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. Scientometrics 22(1), 155–205.
Chen R, Yang L, Zhang X. (2026). Geopolitical risk and the cross-section of stock returns: International evidence. Journal of International Money and Finance 162, 103526.
Clance MW, Gupta R, Wohar ME. (2019). Geopolitical risks and recessions in a panel of advanced economies: Evidence from over a century of data. Applied Economics Letters 26(16), 1317–1321.
D'Apolito E, Onorato G, Salerno M. (2026). Geopolitical risk in the financial sector: A systematic bibliometric review. Risks 14(10), 237.
De Luca G, Del Gaudio BL, Di Iorio AP. (2025). Geopolitical risk and financial stress. The North American Journal of Economics and Finance 80, 102510.
Demir E, Danışman GÖ. (2021). The impact of economic uncertainty and geopolitical risks on bank credit. The North American Journal of Economics and Finance 57, 101444.
Diebold FX, Yılmaz K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. International Journal of Forecasting 28(1), 57–66.
Diebold FX, Yılmaz K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. Journal of Econometrics 182(1), 119–134.
Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, Pandey N, Lim WM. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. Journal of Business Research 133, 285–296.
Fang Y, Shao Z. (2022). The Russia-Ukraine conflict and volatility risk of commodity markets. Finance Research Letters 50, 103264.
Gabriel VMS, Miralles-Quirós MM, Miralles-Quirós JL. (2026). Navigating tail risks: The influence of geopolitical uncertainty on clean and carbon energy. Energy Strategy Reviews 64, 102060.
Hemrit W. (2022). Does insurance demand react to economic policy uncertainty and geopolitical risk? Evidence from Saudi Arabia. The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice 47(2), 460–492.
Hemrit W, Nakhli MS. (2021). Insurance and geopolitical risk: Fresh empirical evidence. The Quarterly Review of Economics and Finance 82, 320–334.
Koop G, Pesaran MH, Potter SM. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. Journal of Econometrics 74(1), 119–147.
Kotsompolis G, Prelorentzos AGN, Xidonas P, Konstantakis KN, Michaelides PG. (2025). European financial markets, energy returns and geopolitical risk: A frequency domain spectral analysis. Energy Economics 150, 108856.
Lai F, Wang F, Li Y, Shum WY. (2025). Global geopolitical risk and stock price informativeness. Economic Analysis and Policy 87, 2279–2297.
Lee CC, Lee CC. (2020). Insurance activity, real output, and geopolitical risk: Fresh evidence from BRICS. Economic Modelling 92, 207–215.
Lee CC, Wang CW. (2021). Firms' cash reserve, financial constraint, and geopolitical risk. Pacific-Basin Finance Journal 65, 101480.
Lee CC, Zhang J, Hou S. (2023). The impact of regional renewable energy development on

environmental sustainability in China. Resources Policy 80.
Li C, Liu Y, Xu R, Xu X. (2025). Insuring legitimacy: The role of uncertainty perceptions in shaping corporate insurance demand. Economic Modelling 151, 107157.
Liu AC, Kuo SH, Guo CL, Li Y. (2024). Sustainable finance analysis of commercial banks in China. Pacific-Basin Finance Journal 86, 102431.
Nguyen MH, Vuong GTH, Phan QG, Nguyen TD. (2026). Does national geopolitical risk shape corporate dividend policy? Empirical insights from emerging economies. Economic Modelling 159, 107558.
Nguyen TC, Thuy TH. (2023). Geopolitical risk and the cost of bank loans. Finance Research Letters 54, 103812.
Nguyenhuu T, Örsal DK. (2024). Geopolitical risks and financial stress in emerging economies. The World Economy 47(1), 217–237.
Olalere OE, Mukuddem-Petersen J. (2024). Geopolitical risk, economic policy uncertainty, and bank stability in BRICS countries. Cogent Economics & Finance 12(1), 2290368.
Olasehinde-Williams GO, Balcilar M. (2022). The effect of geopolitical risks on insurance premiums. Journal of Public Affairs 22(1), e2387.
Pástor Ľ, Veronesi P. (2013). Political uncertainty and risk premia. Journal of Financial Economics 110(3), 520–545.
Pesaran HH, Shin Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. Economics Letters 58(1), 17–29.
Phan DHB, Tran VT, Iyke BN. (2022). Geopolitical risk and bank stability. Finance Research Letters 46, 102453.
Puławska K, Sikora A, Snarska M, Strzelczyk W. (2026). Macro risks and their impact on insurer stock prices: Analyzing climate, geopolitical, and cybersecurity risks. Research in International Business and Finance 81, 103201.
Salisu AA, Lasisi L, Tchankam JP. (2022). Historical geopolitical risk and the behaviour of stock returns in advanced economies. The European Journal of Finance 28(9), 889–906.
Small H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. Journal of the American Society for Information Science 24(4), 265–269.
Su CW, Khan K, Tao R, Umar M. (2020). A review of resource curse burden on inflation in Venezuela. Energy 204, 117925.
Triki MB, Ben Maatoug A. (2021). The gold market as a safe haven against the stock market uncertainty: Evidence from geopolitical risk. Resources Policy 70, 101872.
Wu D, Rashed A, Elamer AA. (2026). Geopolitical risk and bank stability in the MENA region: The moderating role of diversification and financial flexibility. International Journal of Finance & Economics (Early View).
Xiang F, Chang T, Jiang S. (2023). Economic and climate policy uncertainty, geopolitical risk and life insurance premiums in China: A quantile ARDL approach. Finance Research Letters 57, 104211.
Zhang X, Kim M, Yan C, Zhao Y. (2024). Default dependence in the insurance and banking sectors: A copula approach. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money 91, 101911.
Zhou Q, Zhang L, Huang H. (2025). Impact of geopolitical risk on corporate insurance investment. Finance Research Letters 73, 106667.
Zupic I, Čater T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. Organizational Research Methods 18(3), 429–472.

YÜKSEK ENFLASYON DÖNEMİNDE SİGORTA ŞİRKETLERİNİN NOMİNAL VE REEL KÂRLILIĞI: BORSA İSTANBUL ÜZERİNE BİR PANEL VERİ ANALİZİ (2006–2025)

Doç. Dr. M. Hadin ÖNER
Aksaray University, Ortaköy Vocational School, Ortaköy, Aksaray
ORCID ID: 0000-0001-7746-8865

ÖZET
Türkiye'de enflasyon oranının pandemi sonrasında hızla yükselmesi, sigorta sektörünün hasar maliyetleri, prim üretimi ve yatırım gelirlerini doğrudan etkilemiştir. SEDDK kararı gereği sigorta ve emeklilik şirketlerinin finansal tabloları TMS 29'a göre düzeltilmemiştir. Bu yüzden sigorta şirketlerinin açıklanan kârlarının ne düzeyde gerçeği yansıttığı belirsizdir. Çalışmada Borsa İstanbul'daki yedi sigorta ve emeklilik şirketinin 2006–2025 verileri kullanılmıştır. Enflasyonun nominal ve reel özkaynak kârlılığına etkisi sabit etkiler ve MMQR yöntemleriyle tahmin edilmiştir. Bulgulara göre enflasyon nominal ROE'yi artırırken reel ROE'yi artırmamaktadır. Kurumsal kalite kontrol edildiğinde reel ROE üzerindeki etki negatif ve anlamlıdır. Reel kârlılık için dönüm noktası %30–37 civarıdır. Aşınma en çok hayat/emeklilik şirketlerinde ve kârlılığı düşük şirketlerde görülmektedir. Bu nedenle yatırımcıların ve düzenleyicilerin değerlendirmelerinde reel göstergeleri dikkate almaları gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Sigorta şirketleri, kârlılık, enflasyon, reel özkaynak kârlılığı, panel veri analizi
JEL Kodları: G22, E31, C23

NOMINAL VERSUS REAL PROFITABILITY OF INSURANCE COMPANIES IN A HIGH-INFLATION ERA: PANEL EVIDENCE FROM BORSA ISTANBUL (2006–2025)

ABSTRACT
The rapid rise in inflation in Türkiye after the pandemic has directly affected claims costs, premium production and investment income in the insurance sector. In line with a decision by the Insurance and Private Pension Regulation and Supervision Agency (SEDDK), the financial statements of insurance and pension companies have not been restated under TAS 29 (IAS 29, Financial Reporting in Hyperinflationary Economies). It therefore remains unclear to what extent the reported profits of insurers reflect their true economic performance. This study uses 2006–2025 data on seven insurance and pension companies listed on Borsa İstanbul. The effect of inflation on nominal and real return on equity (ROE) is estimated using fixed-effects and Method of Moments Quantile Regression (MMQR) models. The findings show that inflation increases nominal ROE but does not increase real ROE. When institutional quality is controlled for, the effect on real ROE becomes negative and statistically significant. The threshold beyond which inflation erodes real profitability lies at approximately 30–37%. This erosion is most pronounced among life/pension companies and less profitable firms. These results suggest that investors and regulators should take real indicators into account in their assessments.
Keywords: Insurance companies, profitability, inflation, real return on equity, panel data analysis

1. GİRİŞ

Sigorta şirketlerinin kârı temelde iki kaynaktan oluşmaktadır. Bunlardan ilki sigortacılık faaliyetlerinden elde edilen teknik kârdır. İkincisi ise prim rezervlerinin ve özkaynakların değerlendirilmesinden sağlanan yatırım geliridir. Enflasyon bu iki kaynağı aynı anda, ancak çoğu zaman farklı yönlerde etkilemektedir. Hasar ve gider maliyetlerindeki artış teknik kârı daraltırken, yüksek nominal faizler yatırım gelirlerini ve buna bağlı olarak raporlanan kârı artırabilmektedir (EIOPA 2023). Bu nedenle yüksek enflasyon dönemlerinde nominal kârlılık oranlarının şirketlerin gerçek finansal performansını ne ölçüde yansıttığı sorusu önem kazanmaktadır.

Türkiye'de yıllık ortalama TÜFE artışı 2022'de %72,3'e çıkarak son yirmi yılın en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Bu oran 2023'te %53,9, 2024'te %58,5, 2025'te ise %34,9 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK 2026). Bu süreçte sigorta sektörünün 2022 yılındaki net kârı 19,7 milyar TL'den 2025 yılında 168 milyar TL'ye yükselmiştir. Ancak 2025'teki %63'lük nominal artışın reel karşılığı %25 civarındadır (KPMG 2026). Kamu Gözetimi Kurumu, TMS 29'a geçiş tarihini farklı belirleme yetkisini düzenleyici kurumlara bırakmıştır. SEDDK da bu yetkiye dayanarak sigorta, reasürans ve emeklilik şirketlerinin 2023 yılı finansal tablolarının TMS 29'a göre düzeltilmemesini kararlaştırmıştır. 2024/32 ve 2025/33 sayılı genelgelerle aynı uygulama sonraki yıllarda da sürdürülmüştür (SEDDK 2024, 2025). Kısacası sektörün kamuya açıkladığı kârlılık oranları, yüksek enflasyon döneminin tamamında nominal esasa göre belirlenmiştir.

Türk sigorta şirketlerinin kârlılığını panel veriyle inceleyen çalışmaların büyük kısmı firmaya özgü belirleyiciler üzerinde durmuştur. Analizlerde bağımlı değişken genellikle nominal bir oran olarak alınmıştır. Tespit edilebildiği kadarıyla enflasyonun nominal ve reel kârlılık üzerindeki etkisini karşılaştıran bir çalışma bulunmamaktadır. Bu etkinin doğrusal olup olmadığı ya da hayat ve hayat dışı şirketler arasında farklılaşıp farklılaşmadığı da henüz sınanmış değildir. Çalışma bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Borsa İstanbul'daki yedi sigorta ve emeklilik şirketinin 2006–2025 verileri üzerinden üç soruya cevap aranmıştır. Enflasyon nominal ve reel özkaynak kârlılığını farklı yönlerde mi etkilemektedir? Etki doğrusal mıdır, yoksa belli bir enflasyon düzeyinden sonra yön mü değiştirmektedir? Hayat/emeklilik şirketleri ile hayat dışı şirketler enflasyondan aynı ölçüde mi etkilenmektedir?

Literatür taramasının ardından üçüncü bölümde veri seti ve yöntem tanıtılmış, dördüncü bölümde bulgular sunulmuştur. Sonuçlar ve öneriler son bölümde tartışılmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sigortacılık sektörünün kârlılığını açıklayan değişkenler literatürde genellikle firmaya özgü değişkenler (büyüklük, kaldıraç, hasar oranı, likidite) ve makroekonomik değişkenler (büyüme, faiz, enflasyon) şeklinde ele alınmaktadır. Kozak (2011) çalışmasında Polonya'daki hayat dışı sigorta piyasası, Burca ve Batrînca (2014) ise Romanya'daki sigorta piyasasında kârlılığı bu iki grup değişkenle birlikte ele almıştır. Browne vd. (1999), hayat sigortası şirketlerinde finansal başarısızlığın faiz ve enflasyon değişkenleri ile bağlantılı olduğunu bulmuştur. Bunun yanında Horvey ve Odei-Mensah (2025), Güney Afrika'daki hayat dışı şirketlerde enflasyonun belirli bir seviyeden sonra kârlılığı düşürdüğünü ortaya koymuştur. Horvey vd. (2025), hayat sigortası şirketlerinde dinamik panel eşik modeliyle benzer bir sonuca ulaşmıştır. Dionne (2026), ABD verilerinde enflasyonun primleri, giderleri ve yatırım gelirlerini birlikte artırdığını tespit etmiştir.

Türkiye'de yapılan çalışmalarda ise ağırlıklı olarak firmaya özgü değişkenler ele alınmıştır. Öner Kaya ve Kaya (2015), 2008–2013 yıllarında 17 hayat sigortası şirketini ele almıştır. Yazarlar brüt prim ile şirket yaşının aktif kârlılığı artırdığını, büyüklük, cari oran ve sigorta kaldıracının ise azalttığını bulmuştur. 2006–2017 dönemindeki 21 hayat dışı şirketi inceleyen

Özen ve Çankal (2020), büyüklük, likidite, yatırım getirisi, GSYH büyümesi ve faizin kârlılığı olumlu, hasar oranı ile kaldıracın ise olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Şenel ve Akkurt (2022), Borsa İstanbul'daki sigorta şirketlerinde prim ve özkaynak kârlılığının aktif kârlılığa etkisini dinamik panel yöntemiyle incelemiştir. Altı BIST sigorta şirketinin 2016–2023 verilerini kullanan Çelik vd. (2024) hasar/prim oranının net kâr marjını düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır. Tuna ve Özmerdivanlı (2024), 32 şirketin 2014–2023 dönemine ait çeyreklik verileriyle büyüklük ve sermaye yeterliliğinin aktif kârlılığını artırdığını ortaya koymuştur.

Literatürdeki çalışmaların büyük kısmında kârlılık nominal olarak ölçülmüştür. Enflasyon bazı çalışmalarda modele hiç girmemişken bazılarında yalnızca doğrusal bir kontrol değişkeni olarak ele alınmıştır. Nominal ve reel kârlılık ayrımı Fisher (1930) etkisine dayanmaktadır. Modigliani ve Cohn (1979), yatırımcıların enflasyonlu dönemlerde nominal ve reel büyüklükleri karıştırdığını ileri sürerek "enflasyon yanılsaması" kavramını literatüre kazandırmıştır. Enflasyon muhasebesi uygulanmayan Türk sigorta sektörü bu yanılsamayı muhasebe kârı düzeyinde sınamak için elverişlidir. Bu çalışmada, enflasyonun nominal ROE'yi artırdığı (H_1), reel ROE'ye etkisinin pozitif olmadığı (H_2), ilişkinin doğrusal olmadığı (H_3) ve etkinin hayat/emeklilik ile hayat dışı şirketlerde farklılaştığı (H_4) hipotezleri test edilmiştir.

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1. Veri Seti ve Değişkenler

Örneklemde Borsa İstanbul'da işlem gören ve LSEG (Refinitiv) Eikon'da 2006–2025 kârlılık verisi bulunan yedi şirket bulunmaktadır. Hayat dışı grupta Ak, Anadolu, Ray, Türkiye ve Unico Sigorta, hayat/emeklilik grubunda Anadolu Hayat Emeklilik ile Agesa yer almaktadır.

Analizlerde kullanılan bağımlı değişken ROE'dir. Hayat/emeklilik bilançolarındaki bireysel emeklilik varlıkları ROA'yı yapay olarak düşürdüğü için ROE tercih edilmiştir. Reel ROE, Fisher düzeltmesiyle $RROE_{it} = (1 + ROE_{it}) / (1 + \pi_t) - 1$ olarak hesaplanmıştır (π_t: TÜFE yıllık ortalama değişimi). Kontrol değişkenleri firma büyüklüğü (toplam varlıklar, ABD doları, logaritmik), sermaye oranı (özkaynak/toplam varlık, ROA/ROE özdeşliğinden), reel GSYH büyümesi, ln(VIX) ve Dünya Bankası Düzenleyici Kalite endeksidir (Kaufmann vd. 2011). ROE, ROA ve sermaye oranı %5 ve %95 yüzdeliklerinde winsorize edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Değişkenler ve Tanımlayıcı İstatistikler (N = 134)

Değişken	Tanım	Ort.	S.S.	Min.	Maks.
ROE	Net kâr / özkaynak (nominal)	0,178	0,329	−0,629	0,674
RROE	(1+ROE)/(1+π) − 1 (reel)	−0,015	0,242	−0,678	0,539
ROA	Net kâr / toplam varlıklar (nominal)	0,028	0,059	−0,095	0,152
π	TÜFE yıllık ortalama değişim (oran)	0,197	0,194	0,063	0,723
lnSIZE	ln(toplam varlıklar, ABD doları)	20,585	1,240	18,377	23,109
CAP	Özkaynak / toplam varlıklar	0,200	0,117	0,019	0,428
GDP	Reel GSYH büyümesi (oran)	0,049	0,036	−0,049	0,118
lnVIX	ln(VIX), yıllık ortalama	2,915	0,288	2,406	3,487
RQ	Düzenleyici Kalite endeksi (WGI)	0,130	0,252	−0,229	0,479
LIFE	Hayat/emeklilik şirketi = 1	0,254	0,437	0	1

Kaynak: LSEG Eikon, Dünya Bankası, TÜİK ve CBOE verileriyle yazar tarafından hesaplanmıştır. ROE, ROA ve CAP winsorize edilmiş değerlerdir.

3.2. Ekonometrik Yöntem

Temel model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1\pi_t + \beta_2\pi_t^2 + \theta(LIFE_i \times \pi_t) + \gamma' X_{it} + \delta' M_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Y_{it} nominal veya reel ROE'yi, α_i firma sabit etkilerini, X_{it} firma kontrollerini, M_t makro kontrolleri göstermektedir. Enflasyon bütün firmalarda aynı olduğu için modele yıl sabit etkisi eklenememiştir. Ortak şoklar makro değişkenlerle kontrol edilmiştir. β_2 doğrusal olmayan etkiyi, θ hayat/emeklilik şirketlerindeki ek etkiyi ölçmektedir. Dönüm noktası $\pi^* = -\beta_1/(2\beta_2)$ ile bulunmuştur.

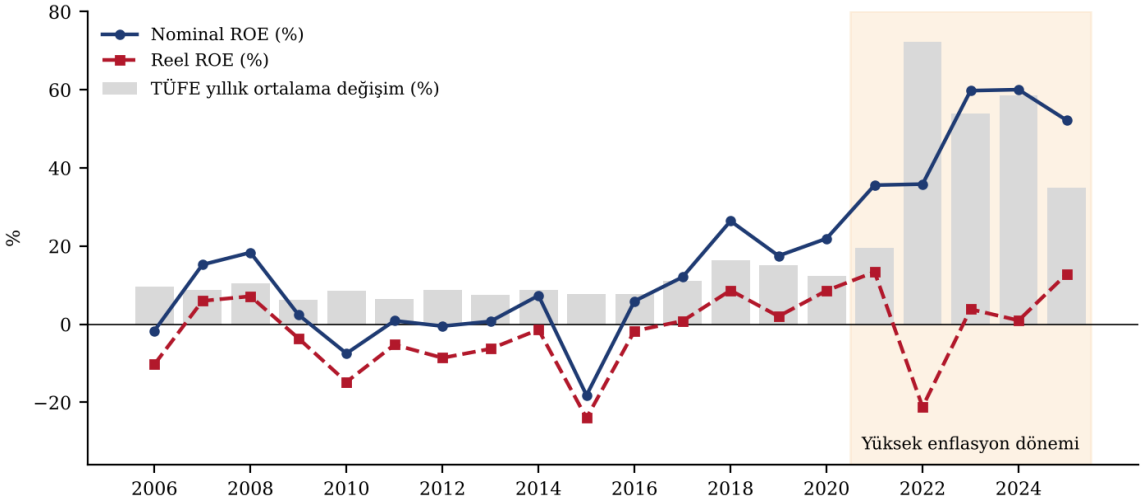
Hausman testi sabit etkileri desteklemiş, Pesaran (2021) CD testi yatay kesit bağımlılığı göstermiştir. Bu nedenle Driscoll ve Kraay (1998) standart hataları (Bartlett çekirdeği, üç gecikme) kullanılmıştır (Hoechle 2007). Yedi birimlik panelde GMM araç sayısının birim sayısını aşması, kümelenmiş standart hatalar ise küme sayısının azlığı nedeniyle uygun bulunmamıştır. En yüksek VIF 2,57'dir. Enflasyon ile Düzenleyici Kalite arasındaki korelasyon −0,76 olduğundan modeller bu değişken olmadan da tahmin edilmiştir.

Etkinin kârlılık dağılımı boyunca değişip değişmediğini görmek için Machado ve Santos Silva'nın (2019) MMQR yöntemi de uygulanmıştır. Yöntem sabit etkileri dikkate almakta ve uç değerlere karşı dayanıklı sonuçlar vermektedir. Standart hatalar yıllar üzerinden blok yeniden örnekleme (999 tekrar) ile hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Nominal ve Reel Kârlılığın Seyri

Şekil 1'de yıllık ortalama nominal ve reel ROE, enflasyonla birlikte verilmiştir. 2006–2020 döneminde iki seri, aralarında yaklaşık enflasyon oranı kadar bir farkla paralel seyretmiştir. 2021'den sonra ise nominal ROE %35–60 düzeyine çıkarken reel ROE 2022'de %−21'e gerilemiştir. 2023–2025'te reel ROE %1–13 aralığındadır.



Şekil 1. Yıllık Ortalama Nominal ve Reel ROE ile Enflasyon (2006–2025)

Tablo 2'ye göre yüksek enflasyon döneminde nominal ROE %6,9'dan %48,7'ye çıkarken reel ROE yalnızca 4,8 puan artmıştır. Hayat dışı şirketlerde reel ROE %−8,2'den %−0,3'e yükselirken hayat/emeklilik şirketlerinde %14,2'den %7,7'ye düşmüştür.

Tablo 2. Dönemlere ve Şirket Gruplarına Göre Ortalama Kârlılık (%)

Grup	Dönem	Nominal ROE	Reel ROE	Nominal ROA	Gözlem
Tüm örneklem	2006–2020	6,9	−2,8	1,2	99
	2021–2025	48,7	2,0	7,3	35
Hayat dışı	2006–2020	0,8	−8,2	1,2	75
	2021–2025	45,4	−0,3	9,6	25
Hayat/emeklilik	2006–2020	25,9	14,2	1,2	24
	2021–2025	57,1	7,7	1,6	10

Not: TÜFE yıllık ortalama değişiminin dönem ortalaması 2006–2020 için %9,8, 2021–2025 için %47,8'dir.

4.2. Sabit Etkiler Tahmin Sonuçları

Tablo 3. Enflasyonun Nominal ve Reel Özkaynak Kârlılığına Etkisi: Driscoll–Kraay Sabit Etkiler Tahminleri

	(1) ROE	(2) RROE	(3) ROE	(4) RROE	(5) ROE	(6) RROE
π	0,350**	−0,448***	2,883***	1,153**	0,462**	−0,325**
	(0,169)	(0,121)	(0,583)	(0,554)	(0,201)	(0,141)
π^2			−3,053***	−1,930***		
			(0,666)	(0,618)		
LIFE × π					−0,394***	−0,435***
					(0,138)	(0,099)
lnSIZE	0,070	0,041	0,022	0,011	0,069	0,041
	(0,044)	(0,036)	(0,042)	(0,037)	(0,042)	(0,034)
CAP	1,796***	1,530***	1,640***	1,432***	1,864***	1,605***
	(0,401)	(0,325)	(0,352)	(0,299)	(0,414)	(0,337)
GDP	−0,037	−0,012	−0,055	−0,024	−0,025	0,002
	(0,406)	(0,343)	(0,324)	(0,296)	(0,402)	(0,340)
lnVIX	−0,084	−0,049	−0,008	−0,001	−0,082	−0,047
	(0,077)	(0,058)	(0,063)	(0,057)	(0,077)	(0,058)
RQ	−0,673***	−0,553***	−0,341***	−0,343***	−0,676***	−0,557***
	(0,121)	(0,091)	(0,125)	(0,117)	(0,122)	(0,092)
Dönüm noktası π^*			0,472	0,299		
Grup içi R^2	0,484	0,234	0,520	0,261	0,496	0,262
Pesaran CD	3,24***	2,73***	1,90*	2,17**	3,43***	3,16***
Hausman χ^2	24,85***	21,54***	22,51***	20,17***	28,01***	27,13***
Gözlem / firma	134 / 7	134 / 7	134 / 7	134 / 7	134 / 7	134 / 7

Not: Parantez içindeki değerler Driscoll–Kraay standart hatalarıdır. Tüm modeller firma sabit etkilerini içermektedir. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Model (1)'de enflasyonun nominal ROE katsayısı 0,350'dir (%5 düzeyinde anlamlı). Model (2)'de reel ROE katsayısı −0,448'dir (%1). Enflasyonda 10 puanlık artış nominal ROE'yi 3,5 puan artırırken reel ROE'yi 4,5 puan azaltmaktadır. Katsayının 1'e eşit olduğu, yani tam yansıma hipotezi reddedilmiştir ($z = -3,85$). H_1 ve H_2 desteklenmektedir. Nominal kâr artışı reel değer yaratımı anlamına gelmemektedir.

Model (3) ve (4)'te kare terim negatif ve anlamlıdır (H_3). Dönüm noktası nominal ROE için %47,2, reel ROE için %29,9'dur. Buna göre enflasyon %30'u aştığında reel kârlılık düşmeye

başlamaktadır. Horvey ve Odei-Mensah (2025) da benzer bir eşik bulmuştur. 2022–2024 enflasyonu her iki eşiğin de üstündedir.

Model (5) ve (6)'da LIFE × π negatif ve %1 düzeyinde anlamlıdır (H_4). Hayat/emeklilik şirketlerinde reel ROE'ye toplam etki −0,760 (S.H. = 0,081), hayat dışı şirketlerde ise −0,325'tir. Dionne (2026) ABD'de tersini, yani hayat dışı şirketlerin daha çok etkilendiğini bulmuştur. Bu farkın nedeni, Türkiye'de hayat dışı şirketlerin kısa vadeli fonlarını yüksek mevduat faizleriyle değerlendirebilmesi ve kasko ile trafik primlerini hızla güncelleyebilmesi olabilir. Sermaye oranı tüm modellerde pozitif ve anlamlı olup büyüklük, GSYH ve VIX anlamsızdır. Düzenleyici Kalite'nin negatif katsayısının nedensel bir ilişkiyi değil, dönem boyunca düşen endeksin zaman eğilimini yansıttığı düşünülmektedir.

4.3. Sağlamlık Analizleri

Sonuçların model tanımına ne kadar duyarlı olduğu Tablo 4'te gösterilmiştir. Panel A'da Düzenleyici Kalite endeksi değişkeni modelden çıkarılmıştır. Bu durumda enflasyonun nominal ROE katsayısı 0,837'ye yükselmiştir. Reel ROE katsayısı ise −0,048 ile istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu tanımda nominal katsayının 1'den farklı olmadığı hipotezi reddedilememektedir (p = 0,49). Panel B'de sürekli enflasyon değişkeninin yerine 2021–2025 yıllarını temsil eden bir yüksek enflasyon rejimi kuklası kullanılmıştır. Bu rejim nominal ROE'yi 28,5 puan artırmakla birlikte reel ROE üzerinde anlamlı bir etki yaratmamaktadır. Hayat/emeklilik şirketlerinde ise aynı rejim reel ROE'yi ilave olarak 20,2 puan düşürmektedir. Driscoll–Kraay gecikme uzunluğu 2 ve 4 olarak alındığında da sonuçlarda bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 4. Sağlamlık Analizleri

	ROE	**RROE**			
Panel A: RQ hariç, Driscoll–Kraay FE					
π (doğrusal model)	0,837***	−0,048			
	(0,237)	(0,188)			
LIFE × π	−0,377***	−0,421***			
	(0,140)	(0,099)			
Hayat/emeklilik toplam etki (π + LIFE × π)	0,570***	−0,346**			
	(0,175)	(0,145)			
Dönüm noktası π* (kareli model)	0,473	0,368			
Panel B: Yüksek enflasyon rejimi (2021–2025)					
HIGH	0,285***	−0,033			
	(0,074)	(0,067)			
LIFE × HIGH	−0,194***	−0,202***			
	(0,040)	(0,031)			
Panel C: MMQR (RQ dâhil)	τ = 0,10	τ = 0,25	τ = 0,50	τ = 0,75	τ = 0,90
π → nominal ROE	0,271	0,302	0,354	0,388	0,412
	(0,714)	(0,600)	(0,445)	(0,349)	(0,325)
π → reel ROE	−0,390	−0,417	−0,453	−0,471*	−0,487*
	(0,457)	(0,395)	(0,318)	(0,285)	(0,290)
LIFE × π → reel ROE	−0,782**	−0,607**	−0,409**	−0,292*	−0,168
	(0,308)	(0,255)	(0,197)	(0,168)	(0,177)

Not: Panel A ve B'de parantez içindeki değerler Driscoll–Kraay standart hatalarıdır. Panel C'de standart hatalar yıllar üzerinden blok yeniden örnekleme (999 tekrar) ile elde edilmiştir. Tüm modellerde Tablo 3'teki kontrol değişkenleri yer almaktadır. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Panel C'deki MMQR katsayıları işaret ve büyüklük bakımından sabit etkiler tahminleriyle uyumlu çıkmıştır. Enflasyonun reel kârlılık üzerindeki negatif etkisi üst kantillere doğru büyümekle birlikte, blok yeniden örnekleme muhafazakâr bir yöntem olduğundan yalnızca üst kantillerde ve %10 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Hayat/emeklilik şirketlerine özgü ek aşınma ise alt kantillerde çok daha güçlüdür ($\tau = 0{,}10$'da $-0{,}782$). Bu etki üst kantillere doğru zayıflamakta ve $\tau = 0{,}90$'da anlamsızlaşmaktadır. Yüksek enflasyonun reel maliyetinin en çok kârlılığı düşük olan hayat/emeklilik şirketlerine yansıdığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yedi BIST sigorta ve emeklilik şirketinin 2006–2025 verileriyle enflasyonun nominal ve reel ROE'ye etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular dört noktada özetlenebilir. Birincisi, enflasyon nominal ROE'yi artırırken reel ROE'yi artırmamaktadır. Kurumsal kalite endeksi kontrol edilince etki negatife dönmektedir. Yüksek enflasyon yıllarındaki rekor kârların önemli bir kısmı fiyat artışının muhasebeye yansımasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. İkincisi, ilişki ters U biçimlidir ve reel kârlılık için eşik %30–37'dir. Üçüncüsü, reel aşınma hayat/emeklilik şirketlerinde daha güçlüdür. Dördüncüsü, bu ek aşınma kârlılığı düşük şirketlerde yoğunlaşmaktadır.

Enflasyon muhasebesinin uygulanmadığı bir ortamda nominal ROE üzerinden yapılan karşılaştırmalar yatırımcıların şirketlerin gerçek performansını değerlendirmesini güçleştirmektedir. SEDDK'nın erteleme kararlarını sürdürmesi durumunda, en azından enflasyondan arındırılmış kârlılık göstergelerinin ek bilgi olarak sunulması yararlı olacaktır. Hayat ve emeklilik şirketlerinin de fiyatlama ve varlık-yükümlülük yönetiminde reel getiri hedeflerini daha fazla dikkate almaları gerekmektedir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Yedi şirketten oluşan örneklem, özellikle kantil tahminlerinin gücünü sınırlamaktadır. Veri setinde teknik kârlılık, bileşik oran ve prim üretimine ilişkin değişkenlerin bulunmaması, enflasyonun kârlılık üzerindeki etkisinin hangi kanallar üzerinden ortaya çıktığının ayrıştırılmasına imkân vermemiştir. Gelecek çalışmalarda SEDDK ve Türkiye Sigorta Birliği verilerinden yararlanılarak halka açık olmayan şirketlerin de örnekleme dâhil edilmesi ve teknik kârlılık ile mali kârlılığın ayrı modellerde ele alınması, enflasyon-kârlılık ilişkisinin daha ayrıntılı incelenmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Browne MJ, Carson JM, Hoyt RE. (1999). Economic and market predictors of insolvencies in the life-health insurance industry. Journal of Risk and Insurance 66(4), 643–659.

Burca AM, Batrînca G. (2014). The determinants of financial performance in the Romanian insurance market. International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences 4(1), 299–308.

Çelik A, Özcan H, Çanakçıoğlu M. (2024). Sigorta şirketlerinde kârlılığın belirleyicileri: BIST sigorta şirketleri üzerine bir araştırma. Mali Çözüm 34(184), 1001–1020.

Dionne G. (2026). The effects of inflation on insurers' performance and value: Final report. SCOR Foundation for Science, Paris.

Driscoll JC, Kraay AC. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. Review of Economics and Statistics 80(4), 549–560.

EIOPA. (2023). Report on the impact of inflation on the insurance sector. European Insurance and Occupational Pensions Authority, Frankfurt.

Fisher I. (1930). The theory of interest. Macmillan, New York.

Hoechle D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata 7(3), 281–

312.
Horvey SS, Odei-Mensah J. (2025). Re-examining the microeconomic and macroeconomic determinants of non-life insurers' profitability in South Africa: Insights from linear and threshold analysis. Journal of Innovation and Entrepreneurship 14, 30.
Horvey SS, Odei-Mensah J, Mushai A. (2025). The determinants of life insurance companies' profitability in South Africa: New evidence from a dynamic panel threshold estimation technique. International Journal of Emerging Markets 20(7), 2998–3026.
Kaufmann D, Kraay A, Mastruzzi M. (2011). The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues. Hague Journal on the Rule of Law 3(2), 220–246.
Kozak S. (2011). Determinants of profitability of non-life insurance companies in Poland during integration with the European financial system. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 14(1), 1–9.
KPMG. (2026). Sigorta sektörel bakış 2026. https://kpmg.com/tr/tr/insights/2026/08/sigorta-sektorel-bakis-2026.html
Machado JAF, Santos Silva JMC. (2019). Quantiles via moments. Journal of Econometrics 213(1), 145–173.
Modigliani F, Cohn RA. (1979). Inflation, rational valuation and the market. Financial Analysts Journal 35(2), 24–44.
Öner Kaya E, Kaya B. (2015). Türkiye'de hayat sigortası şirketlerinin finansal performansını belirleyen firmaya özgü faktörler: Panel veri analizi. Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi 7(12), 93–111.
Özen A, Çankal E. (2020). Determinants of non-life insurer profitability in Turkey. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 24(4), 1779–1797.
Pesaran MH. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. Empirical Economics 60(1), 13–50.
SEDDK. (2024). Sigortacılık sektöründe enflasyon muhasebesi uygulaması hakkında genelge (2024/32). Sigortacılık ve Özel Emeklilik Düzenleme ve Denetleme Kurumu, Ankara.
SEDDK. (2025). Sigortacılık sektöründe enflasyon muhasebesi uygulaması hakkında genelge (2025/33). Sigortacılık ve Özel Emeklilik Düzenleme ve Denetleme Kurumu, Ankara.
Şenel C, Akkurt E. (2022). Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren sigorta şirketlerinin finansal performansını belirleyen firmaya özgü faktörler: Panel veri analizi. Akademik Hassasiyetler 9(19), 169–188.
Tuna R, Özmerdivanlı A. (2024). Türk sigortacılık sektöründe kârlılığı etkileyen firmaya özgü faktörlerin belirlenmesine yönelik ampirik bir çalışma. İşletme Araştırmaları Dergisi 16(4), 2598–2616.
TÜİK. (2026). Tüketici Fiyat Endeksi, Aralık 2025. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

DİJİTAL DÜZLEMLERDE 4-BAĞLILIK VE 8-BAĞLILIĞIN TOPOLOJİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Gamze KUKUŞ
Amasya University, Institute of Science and Technology, Amasya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6890-2081
Doç. Dr. Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR
Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Mathematics, Amasya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-5069-5881

ÖZET
Dijital topoloji, ayrık nokta kümelerinin bağlantılılık ve topolojik özelliklerini matematiksel yöntemlerle inceleyen bir bilim dalıdır. İki boyutlu dijital düzlemde kullanılan 4-komşuluk ve 8-komşuluk tanımları, noktalar arasındaki bağlantı ilişkilerini farklı biçimlerde belirlemektedir. 4-komşulukta yalnızca yatay ve düşey doğrultudaki komşular dikkate alınırken 8-komşulukta köşegen doğrultudaki komşular da bağlantıya dâhil edilmektedir. Bu farklılık, bir nokta kümesinin bağlı olup olmamasını, bağlı bileşenlerinin sayısını ve iki nokta arasındaki en kısa dijital yol uzunluğunu etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, iki komşuluk türü arasındaki matematiksel ilişkiyi tanımlar, önermeler, ispatlar ve örnekler aracılığıyla incelemektir. Çalışmada öncelikle dijital düzlem, komşuluk, dijital yol ve bağlılık kavramları açıklanmıştır. Ardından her 4-bağlı kümenin 8-bağlı olduğu, ancak her 8-bağlı kümenin 4-bağlı olmak zorunda olmadığı gösterilmiştir. Ayrıca 8-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısının 4-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısını aşamayacağı ispatlanmıştır. Manhattan ve Chebyshev uzaklıkları arasındaki ilişki de örneklerle incelenmiş ve 8-komşuluğa dayalı en kısa yol uzunluğunun 4-komşuluğa dayalı uzunluktan büyük olmadığı ortaya konulmuştur. Son olarak, komşuluk seçiminin Euler karakteristiği gibi topolojik özelliklerin değerlendirilmesindeki önemi ele alınmıştır. Çalışma, dijital topolojinin temel kavramlarına dayanan teorik bir inceleme olup sonuçlar matematiksel tanım ve ispatlarla temellendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Dijital topoloji, 4-bağlılık, 8-bağlılık, dijital yol, bağlı bileşen, Manhattan uzaklığı, Chebyshev uzaklığı.

THE EFFECT OF 4-LINKAGE AND 8-LINKAGE ON TOPOLOGICAL PROPERTIES IN DIGITAL PLANES

ABSTRACT
Digital topology is a mathematical field that investigates the connectivity and topological properties of discrete point sets. In the two-dimensional digital plane, 4-adjacency and 8-adjacency define different relationships between neighboring points. While 4-adjacency considers only horizontal and vertical neighbors, 8-adjacency also includes diagonal neighbors. This distinction can affect the connectivity of a set, the number of its connected components, and the lengths of shortest digital paths. This study examines the mathematical relationship between these two adjacency types through definitions, propositions, proofs, and illustrative examples. First, the concepts of the digital plane, adjacency, digital paths, and connectivity are introduced. It is then proved that every 4-connected set is also 8-connected, whereas the

converse does not necessarily hold. The study also establishes that the number of 8-connected components cannot exceed the number of 4-connected components. The relationship between Manhattan and Chebyshev distances is examined, showing that the shortest path length under 8-adjacency is never greater than that under 4-adjacency. Finally, the role of adjacency selection in interpreting topological properties, including the Euler characteristic, is discussed. This work is a theoretical study based on mathematical definitions and proofs.
Keywords: Digital topology, 4-connectivity, 8-connectivity, digital path, connected component, Manhattan distance, Chebyshev distance.

1. GİRİŞ

Topoloji, matematiksel yapıların bağlantılılık, süreklilik ve delik gibi özelliklerini inceleyen bir disiplindir. Klasik topolojide uzaylar ve bu uzaylar üzerindeki yapılar genellikle sürekli bir çerçevede ele alınırken dijital topoloji, ayrık noktalardan oluşan yapılardaki topolojik özellikleri inceler. Özellikle tam sayı koordinatlarından oluşan dijital düzlemde noktalar arasındaki bağlantıların tanımlanması ve bu bağlantıların matematiksel sonuçlarının belirlenmesi temel araştırma konuları arasındadır.

Dijital topolojinin gelişiminde Rosenfeld'in çalışmaları önemli bir yere sahiptir. Rosenfeld (1970), dijital resimlerde bağlantılılık kavramını incelemiş ve ayrık yapıların matematiksel olarak değerlendirilmesinde komşuluk ilişkilerinin önemini ortaya koymuştur. Daha sonraki çalışmalarında dijital eğrilerin özelliklerini ele almıştır (Rosenfeld, 1973, 1979). Klette ve Rosenfeld (2004) ise dijital geometriyi geometrik yöntemler, uzaklıklar ve dijital resimlerin yapısal özellikleri çerçevesinde kapsamlı biçimde incelemiştir.

Dijital düzlemde bir noktanın hangi noktalarla komşu kabul edildiği, bir kümenin bağlantılı olup olmadığını doğrudan etkiler. İki boyutlu dijital düzlemde en yaygın kullanılan komşuluk türleri 4-komşuluk ve 8-komşuluktur. 4-komşuluk, bir noktanın yalnızca üst, alt, sağ ve sol yönlerindeki komşularını kapsar. 8-komşuluk ise bu noktalara dört köşegen komşuyu da ekler. Böylece 8-komşuluk daha fazla bağlantı olanağı sunar. Bununla birlikte, komşuluk ilişkilerinin genişlemesi yalnızca bağlantılılık durumunu değil, bağlı bileşenlerin sayısını ve iki nokta arasındaki en kısa dijital yol uzunluğunu da etkiler.

Komşuluk seçiminin önemi, dijital yapıların topolojik değişmezleri incelendiğinde daha belirgin hâle gelir. Bir nokta kümesinin bağlı bileşen sayısı, kullanılan komşuluk tanımına göre farklılaşabilir. Benzer biçimde, bir dijital yapının içindeki deliklerin değerlendirilmesi yalnızca nesnenin bağlantılarına değil, nesnenin dışındaki arka planın bağlantı ilişkilerine de bağlı olabilir. Kong ve Rosenfeld (1989), nesne ve arka plan için aynı 4- veya 8-bağlılık tanımının kullanılmasının Euler karakteristiğinin yerel hesaplanabilirliği açısından sorun oluşturduğunu göstermiştir. Bu sonuç, dijital topolojide komşuluk seçiminin yalnızca teknik bir tercih olmadığını, matematiksel sonuçları etkileyen temel bir karar olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bildirinin amacı, iki boyutlu dijital düzlemde 4-bağlılık ve 8-bağlılık arasındaki temel ilişkileri matematiksel olarak açıklamaktır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki sorular ele alınmaktadır:

1. 4-bağlılık ve 8-bağlılık arasında nasıl bir ilişki vardır?
2. Köşegen komşulukların eklenmesi, bağlı bileşen sayısını nasıl etkiler?
3. 4-komşuluk ve 8-komşuluk altında hesaplanan en kısa yol uzunlukları arasında hangi ilişki bulunur?

4. Komşuluk seçimi, topolojik değişmezlerin yorumlanmasını neden etkiler?

Çalışma, literatüre dayalı teorik bir inceleme olarak hazırlanmıştır. Araştırmada deneysel veri, klinik uygulama veya makine öğrenmesi yöntemi kullanılmamıştır. Matematiksel sonuçlar tanımlar, ispatlar, sonlu nokta kümeleri ve açıklayıcı şekiller aracılığıyla incelenmiştir. Böylece 4- ve 8-komşuluk arasındaki farkların sistematik ve anlaşılır bir biçimde ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma, dijital topolojinin temel kavramlarını ve literatürde yer alan matematiksel sonuçlarını inceleyen teorik ve ispat temelli bir araştırmadır. İncelemenin kapsamı, iki boyutlu tam sayı düzleminde tanımlanan 4-komşuluk ve 8-komşuluk ilişkileriyle sınırlandırılmıştır.

Araştırmada öncelikle komşuluk, dijital yol ve bağlı bileşen kavramları tanımlanmıştır. Ardından bu kavramlar arasındaki ilişkiler önermeler biçiminde ifade edilmiş ve matematiksel olarak ispatlanmıştır. İspatların anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla küçük ve sonlu nokta kümeleri seçilmiş, aynı kümelerin farklı komşuluk tanımları altında nasıl değiştiği karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise komşuluk ilişkilerinin uzaklık ölçüleri ve topolojik değişmezlerle ilişkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan şekiller ve örnekler gerçek görüntülerden elde edilmemiştir. Bunlar, matematiksel tanımları ve ispatları açıklamak amacıyla oluşturulan şematik gösterimlerdir. Dolayısıyla araştırmanın bulguları deneysel ölçümlere değil, matematiksel çıkarımlara dayanmaktadır.

2.2. Dijital Düzlem ve Komşuluk Kavramı

Dijital düzlemi tanımlamak için tam sayılar kümesi ele alınır. Tam sayılar kümesi $\mathbb{Z}$ ile gösterilir. İki boyutlu dijital düzlem ise koordinatlarının her ikisi de tam sayı olan noktaların oluşturduğu kümedir:

$\mathbb{Z}^2 = \{(x,y)|x,y \in \mathbb{Z}\}$.

Bu gösterimde (x,y), düzlemdeki bir noktanın koordinatlarını ifade eder. Örneğin $(0,0)$, koordinatlarının ikisi de sıfır olan merkez noktadır. $(1,0)$ noktası merkezin bir birim sağında, $(0,1)$ noktası ise bir birim yukarısındadır.

Dijital düzlemde iki noktanın komşu kabul edilmesi için aralarında belirli bir konumsal ilişki bulunması gerekir. Bu ilişki, seçilen komşuluk tanımıyla belirlenir (Kong & Rosenfeld, 1989; Klette & Rosenfeld, 2004).

Tanım 1 (4-komşuluk): İki 2-hücre c_1 ve c_2, ancak ve ancak $c_1 \neq c_2$ ve $c_1 \cap c_2$ bir 1-hücre içerdiği takdirde **1-komşu** olarak adlandırılır. İki ızgara noktası $p_1 = (x_1,y_1)$ ve $p_2 = (x_2,y_2)$, ancak ve ancak $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| = 1$

olduğunda **4-komşu** olarak adlandırılır.

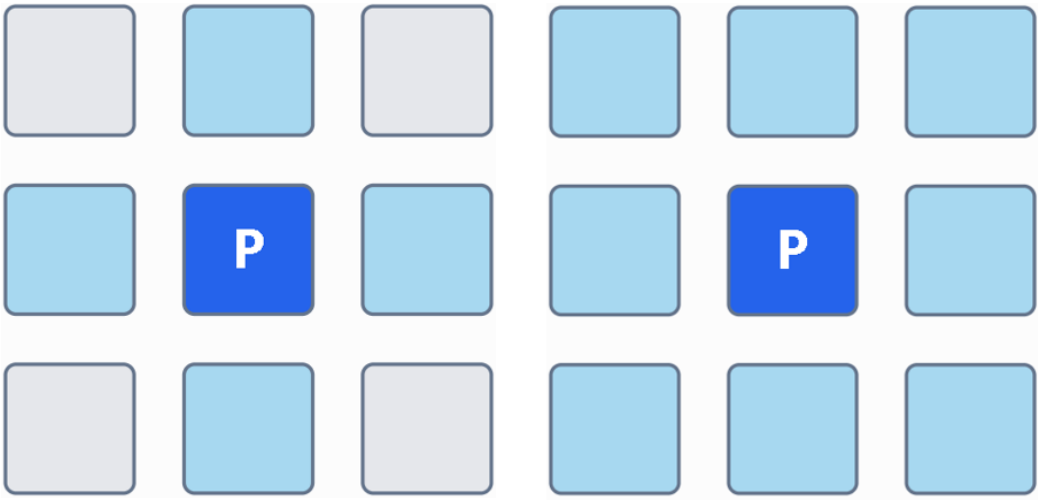
Başka bir ifadeyle, iki 2-hücre c_1 ve c_2, aynı değillerse ve bir ızgara kenarını paylaşıyorlarsa 1 -komşudurlar. p_i, c_i'nin merkezi olmak üzere $c_i (i = 1,2)$; c_1 ve c_2 ancak ve ancak p_1 ve p_2 4-komşu olduğunda 1-komşudur.

Burada, ızgara hücresi ve ızgara noktası modelleri için sırasıyla A_1 (1-komşuluk) ve A_4 (4-komşuluk) ilişkilerini tanımlandı. Genel olarak, pRq ya da $(p, q) \in R$, ancak ve ancak p, q ilişkisinin içinde olduğunda yazılır. Bu gösterimle, $c_1 A_1 c_2$ ancak ve ancak $\{c_1, c_2\} \in A_1$, yani c_1 ve c_2 1-komşudur ve $p_1 A_4 p_2$ ancak ve ancak $\{p_1, p_2\} \in A_4$, yani p_1 ve p_2 4-komşudur. İlişki $A_1 (A_4)$ **simetrik** ve **yansımazdır** (irreflexive) (Klette & Rosenfeld, 2004).

Tanım 2 (8-komşuluk): İki 2-hücre c_1 ve c_2, $c_1 \neq c_2$ ve $c_1 \cap c_2$ bir 0-hücre içerdiği takdirde **0-komşu** olarak adlandırılır. İki ızgara noktası $p_1 = (x_1, y_1)$ ve $p_2 = (x_2, y_2)$, c_1 ve c_2 ancak ve ancak
$\max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} = 1$

olduğunda **8-komşu** olarak adlandırılır (Klette & Rosenfeld, 2004).

Başka bir deyişle; iki 2-hücre c_1 ve c_2, özdeş olmadıkları halde en az bir 0-hücreyi (ızgara köşesini) paylaşıyorlarsa 0-komşudur. Yine, c_i'nin merkezi p_i olmak üzere $(i = 1,2)$, c_1 ve c_2 ancak ve ancak p_1 ve p_2 8-komşu olduklarında 0-komşudur. İlişki A_0 (A_8) simetrik ve yansımasızdır. Şekil 1, kare bir ızgarada A_1/A_4, A_0/A_8 ilişkilerini göstermektedir (Kong & Rosenfeld 1989, Klette & Rosenfeld 2004).



Şekil 1- 4-komşuluk ve 8-komşuluk ilişkileri

4-komşuluk: Yatay ve düşey komşular. **8-komşuluk:** Yatay, düşey ve köşegen

Not-1 P merkez noktayı, mavi hücreler ise ilgili komşuluk tanımına göre komşu kabul edilen noktaları göstermektedir. Şekil 1'den görüldüğü üzere, 4-komşulukta merkez noktanın çevresindeki dört doğrultu dikkate alınırken 8-komşulukta köşegenler de bağlantıya dâhil edilir. Bu nedenle her noktanın 4-komşuları aynı zamanda 8-komşusudur. Ancak 8-komşu olan her nokta çifti 4-komşu değildir (Klette & Rosenfeld, 2004).

- Nokta modeli: 4-komşuluk yatay ve düşey komşuları; 8-komşuluk bunlara ek olarak köşegen komşuları kapsar.
- Hücre modeli: İki farklı kare hücre bir kenarı paylaşıyorsa 1-komşu, bir köşeyi paylaşıyorsa 0-komşu kabul edilir.

2.3. Dijital Yol ve Bağlılık

Dijital topolojide yol kavramı, bir nokta kümesindeki elemanların belirli bir komşuluk ilişkisi aracılığıyla birbirine bağlanmasını ifade eder. Bir dijital yolun varlığı, iki nokta arasında seçilen komşuluk tanımına uygun sonlu bir nokta dizisinin bulunmasına bağlıdır. Bu nedenle dijital yol ve bağlılık kavramları, 4-komşuluk ve 8-komşuluk ilişkileri çerçevesinde ayrı ayrı ele alınmalıdır. Dijital yollar ve bağlı bileşenler, dijital topolojinin temel kavramları arasında yer almaktadır (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).

Tanım 3 (Dijital yol): $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ ve $k \in \{4,8\}$ olsun. A kümesinde bulunan
$P = (p_0, p_1, \dots, p_n)$
sonlu nokta dizisi, her $i = 0,1,\dots,n-1$ için p_i ile p_{i+1} noktaları k-komşu olduğunda bir ***k*-yolu** olarak adlandırılır. Başka bir ifadeyle,
$p_i \in A, \quad i = 0,1,\dots,n,$
$p_i \sim_k p_{i+1}, \quad i = 0,1,\dots,n-1$

koşulları sağlanmalıdır. Burada $\sim_k$, k-komşuluk ilişkisini göstermektedir. $k = 4$ olduğunda ardışık noktalar yatay veya düşey doğrultuda; $k = 8$ olduğunda ise yatay, düşey veya köşegen doğrultuda komşu olmalıdır (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).

Tanım 4 (k-bağlılık): $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ kümesindeki her iki nokta arasında, tamamen A içinde kalan bir k-yolu bulunuyorsa A kümesi **k-bağlı** olarak adlandırılır. Burada $k \in \{4,8\}$ olup bağlılık, kullanılan komşuluk ilişkisine göre belirlenir. Bir küme k-bağlı değilse, kendi içinde k -bağlı bileşenlere ayrılır. Bu bileşenler, seçilen komşuluk ilişkisi altında birbirine yol ile bağlanabilen noktaların oluşturduğu maksimal alt kümelerdir (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).

Örnek 1: Aşağıdaki sonlu nokta kümeleri ele alınsın:

$A = \{(0,0), (1,1)\}$

A kümesinde iki nokta 8-komşudur, ancak 4-komşu değildir. Dolayısıyla A kümesi 8-bağlı, fakat 4-bağlı değildir.

$B = \{(0,0), (1,0), (2,0)\}$

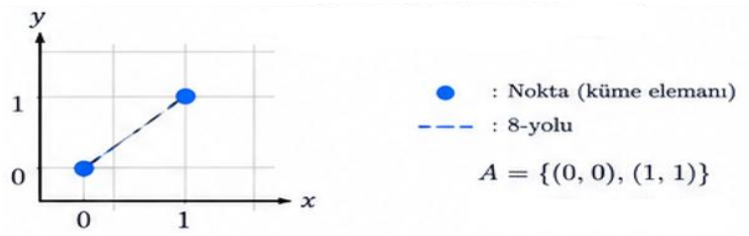
B kümesinde ardışık noktalar 4-komşudur. Dolayısıyla B kümesi 4-bağlıdır. 4-komşuluk, 8-komşuluğu da içerdiğinden B kümesi aynı zamanda 8-bağlıdır.

Önerme 1: Bir $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ kümesi 4-bağlı ise aynı küme 8-bağlıdır.

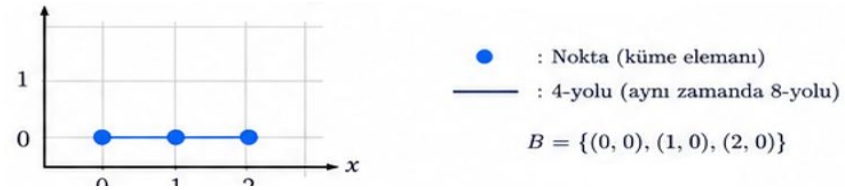
İspat: A kümesinin 4-bağlı olduğunu kabul edelim. Bu durumda A içindeki herhangi iki nokta arasında, ardışık noktaları 4-komşu olan bir yol vardır. Her 4-komşu nokta çifti aynı zamanda 8-komşu olduğundan, aynı yol 8-komşuluk bakımından da geçerlidir. Böylece A kümesindeki her iki nokta arasında bir 8-yolu bulunur. Sonuç olarak A, 8-bağlıdır.

Önerme 2: Bir kümenin 8-bağlı olması, 4-bağlı olmasını zorunlu kılmaz.

İspat: $\{(0,0), (1,1)\}$ kümesini ele alalım. Bu kümedeki iki nokta 8-komşudur; ancak 4-komşu değildir. Kümede başka nokta bulunmadığından bu iki nokta arasında bir 4-yolu oluşturulamaz. Dolayısıyla A, 4-bağlı değildir.



Şekil 2- Köşegen komşu iki nokta 8-bğlıdır ancak 4-bağlı değildir.



Şekil 3- Yatay doğrultuda sıralanan üç nokta hem 4-bağlı hem de 8-bağlı bir küme oluşturur.

Bu sonuçlar, 4-bağlılığın 8-bağlılığı gerektirdiğini, ancak 8-bağlılığın her zaman 4-bağlılığı

gerektirmediğini göstermektedir. Dolayısıyla dijital bir nokta kümesinin bağlılık özelliği değerlendirilirken kullanılan komşuluk tanımının açıkça belirtilmesi gerekir.

2.4. Komşuluk Türünün Bağlı Bileşen Sayısına Etkisi

Dijital topolojide bir nokta kümesinin yapısı, yalnızca kümede bulunan noktaların konumlarına değil, bu noktalar arasında tanımlanan komşuluk ilişkisine de bağlıdır. Aynı dijital nokta kümesi, farklı komşuluk türleri altında incelendiğinde farklı sayıda bağlı bileşen içerebilir. Bu nedenle bağlı bileşen sayısı, komşuluk tanımının dijital yapının bağlantı özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için kullanılan temel ölçütlerden biridir (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).

İki boyutlu dijital düzlemde 4-komşuluk, bir noktanın yalnızca yatay ve düşey doğrultudaki komşularını kapsarken 8-komşuluk, bunlara ek olarak köşegen doğrultudaki komşuları da içerir.

Dolayısıyla 8-komşuluk altında birbirine komşu kabul edilen iki nokta, 4-komşuluk altında birbirinden ayrı kalabilir. Bu durum, 8-komşuluğa geçildiğinde daha önce ayrı olan bazı bağlı bileşenlerin birleşmesine yol açabilir (Klette & Rosenfeld, 2004).

Bu bölümde komşuluk türünün bağlı bileşen sayısı üzerindeki etkisi matematiksel önermeler ve sonlu dijital nokta kümeleri aracılığıyla incelenmektedir. Öncelikle 4-komşuluk ile 8-komşuluk arasındaki ilişki kullanılarak bağlı bileşen sayıları arasında bir eşitsizlik elde edilecek, ardından bu sonuç farklı nokta kümeleri üzerinde örneklendirilecektir.

2.5. Bağlı Bileşen Sayıları Arasındaki Matematiksel İlişki

$A \subseteq \mathbb{Z}^2$ sonlu bir dijital nokta kümesi olsun. İki nokta arasındaki 4-komşuluk, noktaların koordinatlarından yalnızca birinin bir birim değişmesi ve diğerinin sabit kalması durumunda; 8-komşuluk ise koordinat farklarının mutlak değerlerinin her ikisinin de en fazla bir olması ve noktaların birbirinden farklı olması durumunda tanımlanır (Klette & Rosenfeld, 2004).

Buna göre bir $p = (x_1, y_1)$ noktası için 4-komşular

$$N_4(p) = \{ (x_1 - 1, y_1), (x_1 + 1, y_1), (x_1, y_1 - 1), (x_1, y_1 + 1) \}$$

kümesiyle ifade edilir. 8-komşuluk ise bu noktalara köşegen doğrultudaki dört komşunun da eklenmesiyle elde edilir:

$$N_8(p) = N_4(p) \cup \{(x_1 - 1, y_1 - 1), (x_1 - 1, y_1 + 1), (x_1 + 1, y_1 - 1), (x_1 + 1, y_1 + 1)\}.$$

Burada komşuluklar, yalnızca A kümesine ait noktalar dikkate alınarak değerlendirilir. Başka bir ifadeyle, bir noktanın belirtilen komşuluk konumunda bulunması tek başına yeterli değildir; ilgili noktanın A kümesinin elemanı olması gerekir.

Önerme 3: Sonlu bir dijital nokta kümesinin 8-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısı, 4-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısından büyük değildir.

Bu sonuç matematiksel olarak

$$c_8(A) \leq c_4(A)$$

eşitsizliğiyle ifade edilir. Burada $c_4(A)$, A kümesinin 4-komşuluğa göre bileşen sayısını; $c_8(A)$ ise aynı kümenin 8-komşuluğa göre bileşen sayısını göstermektedir. Bu ilişki, 4-komşuluk bağlantılarının 8-komşuluk altında da korunmasının doğrudan bir sonucudur

(Klette & Rosenfeld, 2004).

İspat: A kümesinin 4-komşuluğa göre bağlı bileşenlerini ele alalım. Her 4-komşuluk bağlantısı aynı zamanda 8-komşuluk bağlantısı olduğundan, 4-bağlı bir bileşenin bütün noktaları 8-komşuluk altında da birbirine bağlı kalır. Bununla birlikte, farklı 4-bağlı bileşenler arasında köşegen komşuluklar bulunması durumunda bu bileşenler 8-komşuluk altında birleşebilir. Dolayısıyla 8-komşuluğa geçildiğinde mevcut bir 4-bağlı bileşen parçalanmaz; yalnızca bazı bileşenler birleşebilir. Sonuç olarak 8-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısı, 4-komşuluğa göre bileşen sayısını aşamaz. Böylece

$c_8(A) \leq c_4(A)$

eşitsizliği elde edilir.

Bu önerme, komşuluk türü ile bağlı bileşen sayısı arasındaki temel ilişkiyi ortaya koymaktadır. Ancak eşitsizliğin her zaman sıkı olması gerekmez. Başka bir ifadeyle, bazı kümelerde iki komşuluk türüne göre bileşen sayıları eşit kalırken bazı kümelerde 8-komşuluğa geçilmesi bileşen sayısını azaltır.

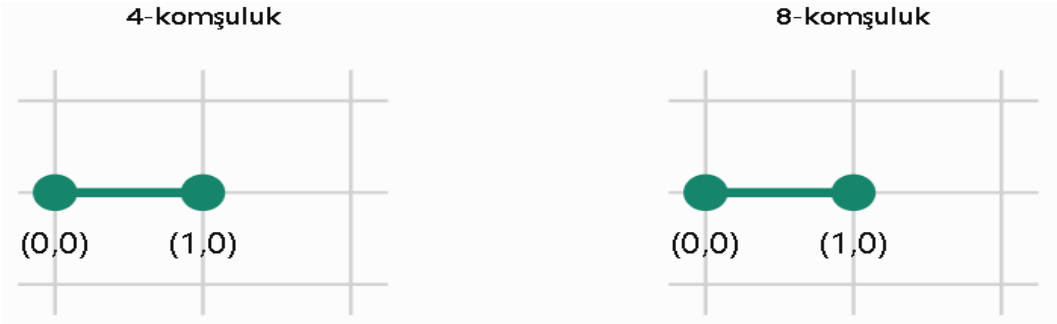
2.6. Sonlu Nokta Kümeleri Üzerinde Örnekler

Önermenin sonuçlarını daha açık biçimde incelemek amacıyla aynı nokta kümelerini iki farklı komşuluk tanımı altında değerlendirelim. Aşağıdaki örneklerde her nokta (x, y) koordinatlarıyla gösterilmekte ve noktalar arasındaki bağlantılar yalnızca ilgili komşuluk koşulunu sağlayan noktalar arasında kurulmaktadır.

Görsellerde ● işareti, dijital nokta kümesinin bir elemanını göstermektedir. Izgaradaki noktaların birbirine yakın görünmesi tek başına bağlantı anlamına gelmez; bağlantı, matematiksel olarak tanımlanan komşuluk ilişkisine göre belirlenir.

Örnek 2: Yatay komşu noktalar

$A_1 = \{(0,0), (1,0)\}$



Şekil 4- Yatay doğrultuda komşu iki noktanın iki komşuluk türündeki gösterimi.

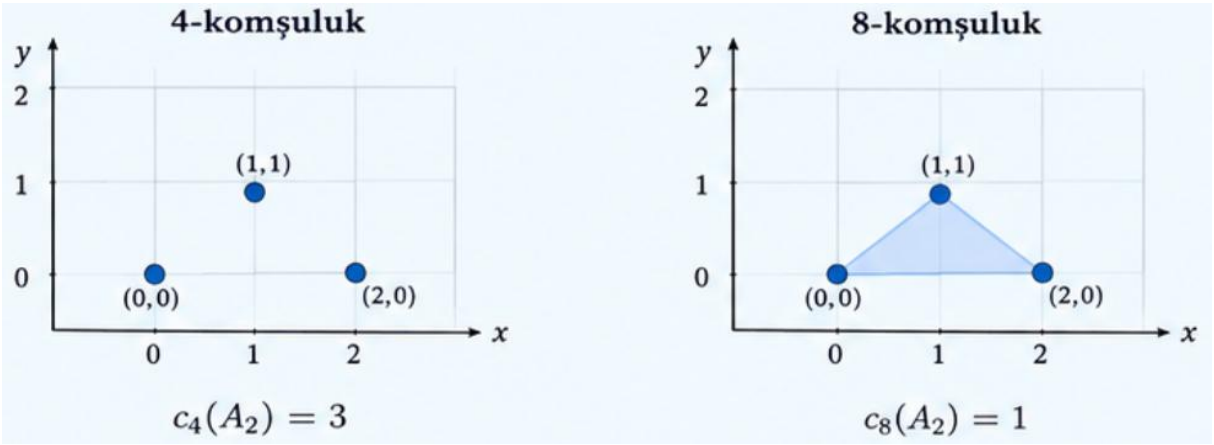
Bu örnekte noktaların koordinatları arasındaki fark

$|(1-0)| = 1, \quad |0-0| = 0$

şeklindedir. Koordinatlardan biri bir birim değişirken diğeri sabit kaldığı için noktalar 4-komşudur. Her 4-komşuluk aynı zamanda 8-komşuluk olduğundan noktalar her iki komşuluk

türünde de birbirine bağlıdır. Bu nedenle
$c_4(A_1) = 1, \qquad c_8(A_1) = 1$
elde edilir. Dolayısıyla bu örnekte komşuluk türünün değiştirilmesi bağlı bileşen sayısını etkilemez.

Örnek 3: $A_2 = \{(0,0), (1,1), (2,0)\}$ kümesi ele alınsın. Bu kümede farklı noktalar arasında 4-komşuluk ilişkisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla kümenin 4-bağlı bileşen sayısı $c_4(A_2) = 3$ olur. Buna karşılık, $(1,1)$ noktası hem $(0,0)$ hem de $(2,0)$ noktasıyla 8-komşudur. Böylece küme 8-komşuluk altında tek bir bağlı bileşenden oluşur ve $c_8(A_2) = 1$ elde edilir. Bu örnek, bir kümenin 4-komşuluk altında birden fazla bağlı bileşene sahipken 8-komşuluk altında

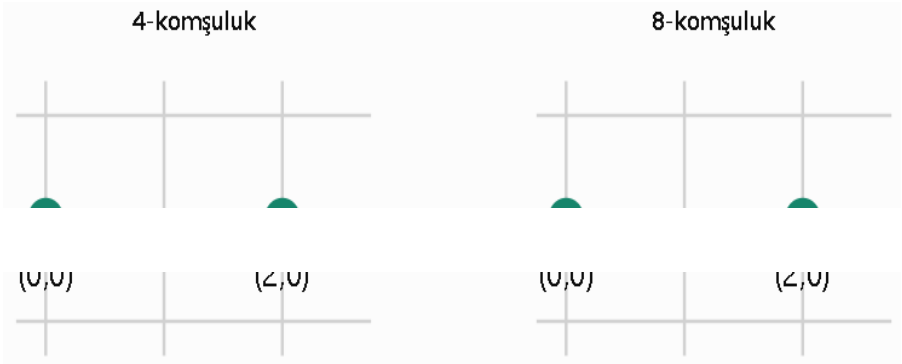


tek bir bağlı bileşen hâline gelebileceğini göstermektedir.

Örnek 4: Aralarında bir nokta boşluğu bulunan iki nokta

Şekil 5- $A_2 = \{(0,0), (1,1), (2,0)\}$ nokta kümesinin 4-komşuluk ve 8-komşuluk altında bağlı bileşen sayılarının karşılaştırılması.

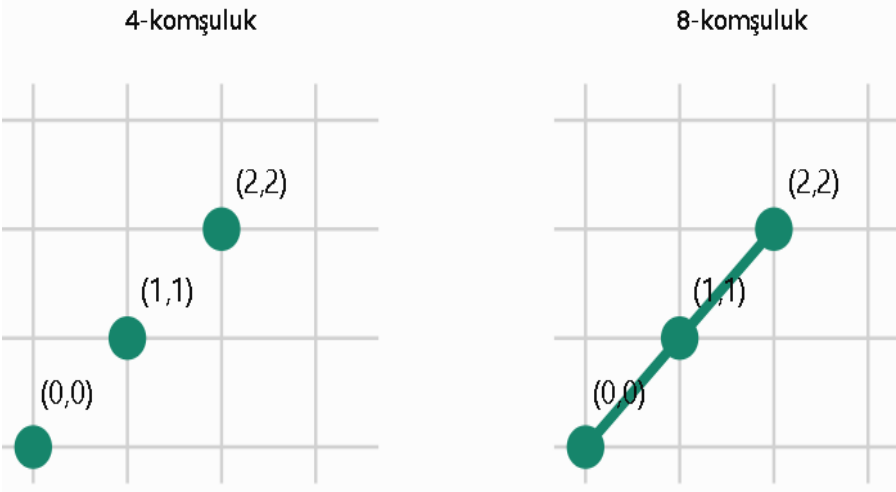
$A_3 = \{(0,0), (2,0)\}$



Şekil 6- Aralarında iki birim yatay uzaklık bulunan noktalar doğrudan komşu değildir.

Bu örnekte noktalar arasındaki koordinat farkları
$|(2-0)| = 2, \qquad |0-0| = 0$
şeklindedir. İki nokta arasında bir birimlik yatay mesafeye sahip ara bir nokta bulunabilse de bu nokta A_3 kümesine ait değildir. Bu nedenle küme içerisinde iki nokta arasında bağlantı kurabilecek bir ara nokta yoktur.
Her iki komşuluk türünde de noktalar birbirine doğrudan komşu olmadığından
$c_4(A_3) = 2, \qquad c_8(A_3) = 2$
elde edilir. Bu sonuç, 8-komşuluğun daha geniş bir komşuluk ilişkisi tanımlamasına rağmen her nokta kümesinde bileşen sayısını azaltmadığını göstermektedir.

Örnek 5: Köşegen doğrultuda sıralanmış üç nokta
$A_4 = \{(0,0), (1,1), (2,2)\}$



Şekil 7- Köşegen zincir biçimindeki üç noktanın iki komşuluk türüne göre karşılaştırılması.

Noktalar arasındaki ardışık koordinat farkları her iki koordinatta da bir birimdir. Bu nedenle $(0,0)$ ile $(1,1)$ ve $(1,1)$ ile $(2,2)$ noktaları 8-komşudur; ancak bu çiftler 4-komşuluk koşulunu sağlamaz.
4-komşuluk altında üç nokta arasında bağlantı kuran bir yol bulunmadığından her nokta ayrı bir bileşendir. 8-komşuluk altında ise ardışık noktalar arasında bağlantı kurulur ve üç nokta tek bir bağlı bileşen oluşturur. Böylece
$c_4(A_4) = 3, \qquad c_8(A_4) = 1$
sonucuna ulaşılır. Bu örnek, birden fazla köşegen bağlantının aynı anda bulunması durumunda bağlı bileşen sayısının daha belirgin biçimde azalabileceğini göstermektedir

2.7. Örneklerin Karşılaştırılması

İncelenen nokta kümelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Nokta kümesi	$c_4(A)$	$c_8(A)$	Sonuç
$A_1 = \{(0,0),(1,0)\}$	1	1	Sayı değişmez.
$A_2 = \{(0,0),(1,1),(2,0)\}$	3	1	İki bileşen birleşir.
$A_3 = \{(0,0),(2,0)\}$	2	2	Sayı değişmez.
$A_4 = \{(0,0),(1,1),(2,2)\}$	3	1	Üç bileşen birleşir.

Tablo 1- Sonlu dijital nokta kümelerinde komşuluk türüne göre bağlı bileşen sayılarının karşılaştırılması

Tablo incelendiğinde, 8-komşuluğa geçişin bağlı bileşen sayısını azaltabildiği, ancak bu azalmanın her durumda gerçekleşmediği görülmektedir. Yatay komşu noktaların oluşturduğu A_1 kümesinde iki komşuluk türü de aynı bağlantıları içerdiğinden bileşen sayısı değişmemektedir. A_2 kümesinde ise köşegen bağlantının kabul edilmesi iki bileşeni birleştirmektedir.

A_3 kümesinde noktalar arasındaki uzaklık doğrudan komşuluk kurmaya yeterli olmadığından bileşen sayısı aynı kalmaktadır. Son olarak A_4 kümesinde ardışık köşegen bağlantılar, 4-komşuluk altında ayrı olan üç bileşeni 8-komşuluk altında tek bir bileşene dönüştürmektedir. Bu örnekler, bağlı bileşen sayısının yalnızca nokta sayısına bağlı olmadığını; noktaların geometrik yerleşimi ve seçilen komşuluk ilişkisi tarafından birlikte belirlendiğini ortaya koymaktadır. Bu değerlendirme, dijital topolojide bağlılık ve bağlı bileşenlerin komşuluk tanımına bağlı olarak incelenmesiyle tutarlıdır (Kong & Rosenfeld, 1989; Klette & Rosenfeld, 2004).

2.8. Dijital Uzaklık ve Yol Uzunluğu

Dijital topolojide noktalar arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi için komşuluk, yol ve uzaklık kavramlarının birlikte ele alınması gerekir. Dijital düzlemde noktalar, $\mathbb{Z}^2$ tam sayı koordinatlarıyla ifade edilir. İki noktanın komşu kabul edilmesi, seçilen komşuluk modeline bağlıdır. Bu nedenle dijital bir yapıda iki nokta arasındaki bağlantı ve uzaklık değerlendirilirken kullanılan komşuluk tanımı açıkça belirtilmelidir (Klette ve Rosenfeld, 2004).

2.8.1. Dijital Komşuluk ve Uzaklık

$p = (x_1, y_1)$ ve $q = (x_2, y_2)$, $\mathbb{Z}^2$ dijital düzleminde iki farklı nokta olsun. 4-komşulukta iki noktanın komşu olması için koordinatlardan yalnızca birinin bir birim değişmesi gerekir. Bu koşul,

$$|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| = 1$$

şeklinde ifade edilir. 8-komşulukta ise yatay ve düşey hareketlerin yanı sıra çapraz hareketlere de izin verilir. İki farklı noktanın 8-komşu olması için

$\max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} = 1$

koşulu sağlanmalıdır. Böylece 4-komşulukta bir noktanın dört,

8-komşulukta ise sekiz komşusu bulunur (Klette ve Rosenfeld, 2004).

Bu komşuluk modelleriyle ilişkili uzaklık fonksiyonları, iki nokta arasındaki hareket sayısını matematiksel olarak belirler. $p = (x_1, y_1)$ ve $q = (x_2, y_2)$, noktaları için 4-uzaklığı ve 8-uzaklığı sırasıyla

$d_4(p,q) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$

ve

$d_8(p,q) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$

biçiminde tanımlanır. d_4, Manhattan veya şehir bloğu uzaklığı olarak adlandırılır. Bu uzaklıkta yalnızca yatay ve düşey birim hareketlere izin verildiğinden, iki nokta arasındaki uzaklık koordinat farklarının mutlak değerleri toplamına eşittir. d_8 ise satranç tahtası veya Chebyshev uzaklığı olarak adlandırılır. Bu modelde yatay ve düşey hareketlerin yanı sıra köşegen hareketlere de izin verilir. Bu nedenle uzaklık, iki koordinat farkının mutlak değerlerinden büyük olanıyla belirlenir (Klette & Rosenfeld, 2004).

Örnek 6: $p = (1,1)$ ve $q = (4,3)$ noktaları ele alınsın. Bu noktalar arasındaki uzaklıklar

$d_4(p,q) = |1-4| + |1-3| = 3 + 2 = 5,$

$d_8(p,q) = \max\{|1-4|, |1-3|\} = \max\{3,2\} = 3$

olarak hesaplanır. Dolayısıyla aynı iki nokta arasındaki uzaklık, seçilen komşuluk modeline göre farklı değerler alabilir. Bu örnekte 4-komşulukta en az beş, 8-komşulukta ise en az üç birim hareket gerekir.

Klette ve Rosenfeld (2004), bu uzaklıkların Öklid uzaklığı d_e ile ilişkisini aşağıdaki eşitsizlikle verir:

$d_8(p,q) \leq d_e(p,q) \leq d_4(p,q) \leq 2d_8(p,q)$

Bu sonuç, 4-uzaklığı ile 8-uzaklığının Öklid uzaklığını farklı biçimlerde sınırladığını gösterir. (Öklid uzaklığı $d_e(p,q) = \{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}\}$ ile ifade edilir.)

2.8.2. Dijital Yol ve Yol Uzunluğu

Dijital düzlemde bir noktadan başka bir noktaya ulaşmak, seçilen komşuluk ilişkisine göre oluşturulan sonlu bir nokta dizisiyle ifade edilir.

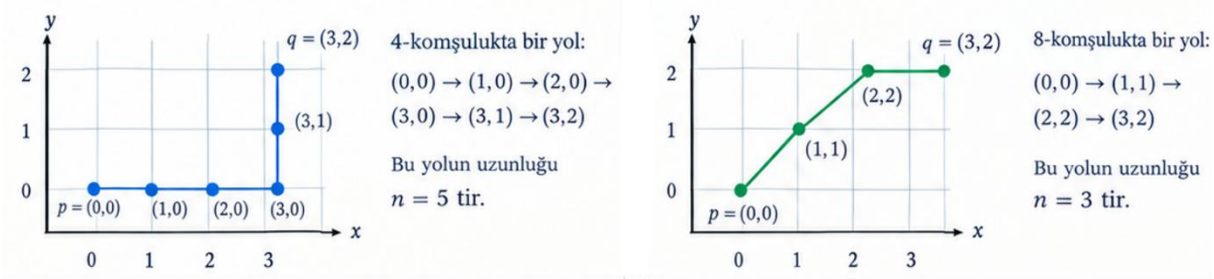
Klette ve Rosenfeld'e (2004) göre p noktasından q noktasına giden $\rho = (p_0, p_1, \ldots, p_n)$ nokta dizisinde $p_0 = p$, $p_n = q$ olmalı ve her $i = 0,1,\ldots,n-1$ için p_i ile p_{i+1} birbirine α-komşu olmalıdır. Bu durumda ρ, uzunluğu n olan bir α-dijital yol olarak adlandırılır. Burada α, kullanılan komşuluk modelini; örneğin 4 veya 8 komşuluğu belirtir.

Bir dijital yolun uzunluğu, yol üzerindeki nokta sayısıyla değil, ardışık noktalar arasındaki geçişlerin sayısıyla belirlenir. Dolayısıyla $n + 1$ nokta içeren bir dijital yolun uzunluğu n'dir. Aynı iki nokta arasında, seçilen komşuluk ilişkisine bağlı olarak farklı uzunluklarda yollar oluşturulabilir. Özellikle 8-komşulukta köşegen hareketlere de izin verilmesi, bazı nokta çiftleri arasında daha kısa yolların elde edilmesini sağlar (Klette & Rosenfeld, 2004).

İki nokta arasındaki en kısa dijital yolun uzunluğu, kullanılan komşuluk ilişkisine göre farklı matematiksel ifadelerle hesaplanır. $p = (x_1, y_1)$ ve $q = (x_2, y_2)$ noktaları için 4-komşuluğa göre en kısa yolun uzunluğu, Manhattan uzaklığı olarak adlandırılır ve

$d_4(p,q) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$
eşitliğiyle verilir. Bu uzaklıkta yalnızca yatay ve düşey hareketlere izin verilir.
8-komşuluğa göre en kısa yolun uzunluğu ise Çebişev (Chebyshev) uzaklığı olarak adlandırılır ve
$d_8(p,q) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$
eşitliğiyle ifade edilir. Bu durumda yatay ve düşey hareketlerin yanı sıra köşegen hareketler de mümkündür. Bu iki uzaklık, dijital düzlemde farklı komşuluk modellerinin geometrik özelliklerini açıklayan temel ölçülerdir (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).
Bu tanımlardan,
$d_8(p,q) \leq d_4(p,q)$
eşitsizliği elde edilir. Çünkü 8-komşulukta yatay ve düşey hareketlere ek olarak köşegen hareketler de kullanılabilir. Böylece 8-komşulukta iki nokta arasındaki en kısa yolun uzunluğu, 4-komşulukta elde edilen en kısa yolun uzunluğundan büyük olamaz.
Örnek 7: $p = (0,0)$ ve $q = (3,2)$ noktaları arasındaki en kısa yolları ele alalım. 4-komşulukta, başlangıç noktasından hedef noktaya ulaşmak için üç yatay ve iki düşey hareket gerekir. Bu nedenle aşağıdaki yol oluşturulabilir:
$P_4 = \big((0,0),(1,0),(2,0),(3,0),(3,1),(3,2)\big).$
Bu yol altı nokta içerir; ancak ardışık noktalar arasındaki geçiş sayısı beş olduğundan yolun uzunluğu 5'tir. Dolayısıyla
$d_4((0,0),(3,2)) = |3-0| + |2-0| = 5$
olur.
8-komşulukta ise iki köşegen hareket ve bir yatay hareketle hedef noktaya ulaşılabilir.
Örneğin,
$P_8 = ((0,0),(1,1),(2,2),(3,2))$
yolu üç geçiş içerir. Buna göre
$d_8((0,0),(3,2)) = max\{|3-0|, |2-0|\} = 3$

elde edilir.



Şekil 8- Aynı iki nokta arasında 4- ve 8-komşulukta en kısa yollar

Örnekte görüldüğü üzere, aynı iki nokta arasındaki en kısa yolun uzunluğu komşuluk modeline göre değişmektedir. 4-komşulukta yalnızca yatay ve düşey hareketler kullanılabilirken 8-komşulukta köşegen hareketler de mümkün olduğundan daha kısa bir yol elde edilmektedir. Bu sonuç, komşuluk seçiminin dijital düzlemde yalnızca bağlılık ilişkisini değil, noktalar arasındaki uzaklıkları ve yol uzunluklarını da etkilediğini göstermektedir.

2.9. Topolojik Özellikler Üzerindeki Etkiler

Dijital düzlemde komşuluk ilişkisi, bir nokta kümesinin bağlı bileşenlerinin belirlenmesinin

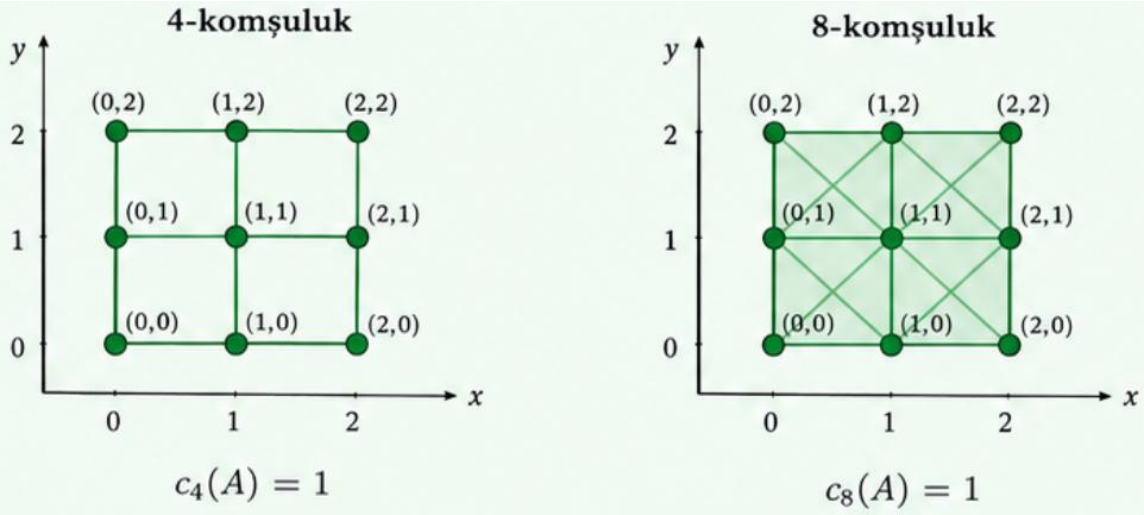
yanı sıra, yapının topolojik özelliklerinin yorumlanmasında da önem taşır. Özellikle bir dijital yapının deliklerinin belirlenmesi, yalnızca nesne noktaları arasındaki bağlantılara değil, nesnenin dışında kalan arka planın bağlantı ilişkilerine de bağlıdır. Bu nedenle topolojik özellikler incelenirken kullanılan komşuluk tanımının ve nesnenin temsil biçiminin açıkça belirtilmesi gerekir (Klette & Rosenfeld, 2004; Kong & Rosenfeld, 1989).

2.9.1. Delik Kavramı ve Dijital Yapı

Düzlemsel bir yapıda delik, nesnenin içinde kalan ve nesnenin kendisine ait olmayan, dış bölgeye bağlantısı bulunmayan sınırlı bir boşluk olarak düşünülebilir. Dijital yapılarda bu kavramın değerlendirilmesi, nesne ile arka plan arasındaki bağlantı ilişkilerinin nasıl tanımlandığıyla yakından ilişkilidir.

Örneğin, birim karelerden oluşan ve ortasında bir birim karelik boşluk bulunan halka biçimindeki bir yapı ele alınsın. Karelerin kenarlarından birleştirildiği ve birlikte bir düzlemsel hücre kompleksi oluşturduğu kabul edildiğinde yapı tek bir bağlı bileşene ve bir deliğe sahiptir. Burada delik, yapının çevrelediği ancak yapının kendisine dâhil olmayan boş bölgeyi ifade eder. Bu örnek, dijital yapıların topolojik özelliklerini belirlerken temsil biçiminin önemini göstermektedir. Yalnızca nokta koordinatlarından oluşan bir küme ile birim karelerin birleşiminden meydana gelen bir hücresel yapı aynı matematiksel nesne değildir. Dolayısıyla delik sayısı değerlendirilirken kullanılan modelin açıkça tanımlanması gerekir.

Örnek 8: $A = \{(x,y) \in \mathbb{Z}^2 | x,y \in \{0,1,2\}\}$ kümesi, 3×3 boyutlarında bir dijital nokta düzenini temsil etmektedir. Küme, 4-komşuluk altında tek bir bağlı bileşene sahiptir. Nokta kümesinin bu özelliği, tek başına bir delik bulunduğu veya bulunmadığı sonucunu vermek için yeterli değildir. Delik kavramının değerlendirilmesinde, noktaların hangi geometrik nesneyi temsil ettiği ayrıca belirtilmelidir.



Şekil 9- $A = \{(x,y) \in \mathbb{Z}^2 | \, x,y \in \{0,1,2\}\}$ biçiminde tanımlanan dolu 3×3 dijital karenin 4-komşuluk ve 8-komşuluk altındaki gösterimi.

2.9.2. Euler Karakteristiği

Euler karakteristiği, uygun bir düzlemsel topolojik modelde bağlı bileşen sayısı ile bağımsız

delik sayısı arasındaki ilişkiyi ifade eden bir değişmezdir. Sonlu bir düzlemsel hücre kompleksi için Euler karakteristiği

$$\chi = \beta_0 - \beta_1$$

eşitliğiyle ifade edilebilir. Burada β_0, bağlı bileşen sayısını; β_1 ise bağımsız delik sayısını göstermektedir.

Örnek 9: Bir önceki alt bölümde ele alınan halka biçimindeki yapıda tek bir bağlı bileşen ve bir delik bulunduğundan $\beta_0 = 1$ ve $\beta_1 = 1$ olur. Buna göre Euler karakteristiği

$$\chi = 1 - 1 = 0$$

olarak hesaplanır.

Bu örnek, bir yapının tek bir bağlı bileşene sahip olmasının deliksiz olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir. Euler karakteristiği, bağlı bileşen ve delik sayılarını birlikte değerlendirir. Bununla birlikte, yukarıdaki formül kullanılan düzlemsel hücre kompleksinin yapısına uygun olduğunda geçerlidir; dolayısıyla her dijital nokta kümesine, temsil modeli açıklanmadan doğrudan uygulanmamalıdır.

2.9.3. Komşuluk Seçiminin Topolojik Yorumlamaya Etkisi

Dört ve sekiz komşuluk arasındaki temel fark, köşegen doğrultudaki bağlantıların kabul edilip edilmemesidir. Önceki bölümlerde gösterildiği üzere, 8-komşuluk altında 4-komşuluğa kıyasla daha fazla bağlantı kurulabilir. Bu nedenle 8-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısı, 4-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısından büyük olamaz.

Ancak bu sonuç, delik sayısının veya Euler karakteristiğinin her durumda aynı yönde değişeceği anlamına gelmez. Deliklerin belirlenmesinde nesnenin bağlantı ilişkilerinin yanında arka planın bağlantılılığı ve kullanılan geometrik temsil de dikkate alınmalıdır.

Dolayısıyla komşuluk seçiminin topolojik değişmezler üzerindeki etkisi, tanımlanan matematiksel model çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, dijital düzlemde komşuluk ilişkileri yalnızca noktalar arasındaki bağlantıları ve en kısa yol uzunluklarını değil, topolojik özelliklerin yorumlanma biçimini de etkiler.

Bu özelliklerin tutarlı biçimde incelenebilmesi için komşuluk tanımlarının, nesne-arka plan ilişkisinin ve kullanılan temsil modelinin açıkça belirtilmesi gerekir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, iki boyutlu dijital düzlemde 4-komşuluk ve 8-komşuluk ilişkilerinin bağlılık, bağlı bileşen sayısı, dijital uzaklık, yol uzunluğu ve topolojik özelliklerle ilişkisi matematiksel tanımlar, önermeler, ispatlar ve sonlu nokta kümeleri aracılığıyla incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, komşuluk tanımının dijital yapıların bağlantı özelliklerini belirlemede temel bir rol oynadığını göstermektedir. Her 4-bağlı kümenin 8-bağlı olduğu, ancak her 8-bağlı kümenin 4-bağlı olmak zorunda olmadığı ortaya konulmuştur. Ayrıca 8-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısının 4-komşuluğa göre bağlı bileşen sayısını aşamayacağı matematiksel olarak gösterilmiştir. Sonlu nokta kümeleri üzerinde incelenen örnekler, köşegen bağlantıların bazı durumlarda ayrı bağlı bileşenleri birleştirdiğini, bazı durumlarda ise bağlı bileşen sayısının değişmediğini ortaya koymuştur.

Uzaklık ve yol uzunluğu bakımından yapılan inceleme, 4-komşuluk ile 8-komşuluğun farklı hareket kurallarına dayandığını göstermektedir. Manhattan uzaklığı, yalnızca yatay ve düşey hareketlere dayalı en kısa yol uzunluğunu ifade ederken Chebyshev uzaklığı köşegen hareketleri de hesaba katar. Bu nedenle iki nokta arasındaki en kısa yol uzunluğu 8-komşuluk altında 4-komşuluk altındaki uzunluktan büyük olamaz.

Topolojik özellikler bakımından yapılan değerlendirme ise delik sayısının belirlenmesinde yalnızca nesne noktalarının komşuluk ilişkilerinin yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Arka

planın bağlantı ilişkileri ve dijital yapının hangi geometrik modelle temsil edildiği de dikkate alınmalıdır. Euler karakteristiği gibi topolojik değişmezlerin doğru yorumlanabilmesi için kullanılan modelin ve tanımların açıkça belirtilmesi gerekir.

Sonuç olarak bu çalışma, dijital düzlemde 4-komşuluk ve 8-komşuluk arasındaki matematiksel ilişkileri ortaya koyarak komşuluk seçiminin bağlantılılık ve uzaklık özellikleri üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı nesne-arka plan komşuluk eşleşmeleri ve daha genel hücresel modeller incelenerek dijital yapıların topolojik değişmezleri üzerindeki etkiler daha ayrıntılı biçimde araştırılabilir.

4. KAYNAKÇA

Klette, R., & Rosenfeld, A. (2004). Digital geometry: Geometric methods for digital picture analysis. Morgan Kaufmann.

Kong, T. Y., & Rosenfeld, A. (1989). Digital topology: Introduction and survey. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 48(3), 357–393. https://doi.org/10.1016/0734-189X(89)90147-3

Rosenfeld, A. (1970). Connectivity in digital pictures. Journal of the ACM, 17(1), 146–160. https://doi.org/10.1145/321556.321570

Rosenfeld, A. (1973). Arcs and curves in digital pictures. Journal of the ACM, 20(1), 81–87. https://doi.org/10.1145/321738.321745

Rosenfeld, A. (1979). Digital topology. The American Mathematical Monthly, 86(8), 621–630. https://doi.org/10.1080/00029890.1979.11994873

KANSER ARAŞTIRMALARINDA TOPOLOJİK YÖNTEMLERİN KULLANIMI: MATEMATİKSEL BİR İNCELEME

Gamze KUKUŞ
Amasya University, Institute of Science and Technology, Amasya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6890-2081
Doç. Dr. Nurcan BİLGİLİ GÜNGÖR
Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Mathematics, Amasya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-5069-5881

ÖZET
Topolojik yöntemler, karmaşık yapıların bağlantılılık, delik ve şekil gibi özelliklerinin matematiksel olarak incelenmesini sağlayan araçlar sunmaktadır. Bu yöntemlerin kanser araştırmalarındaki kullanımına ilişkin çalışmalar, biyolojik ve klinik verilerin yapısal özelliklerini değerlendirmek amacıyla farklı topolojik yaklaşımların geliştirildiğini göstermektedir. Bu çalışmada, kanser araştırmalarında kullanılan topolojik yöntemlerin matematiksel temellerinin ve literatürdeki kullanım alanlarının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda bağlı bileşenler, topolojik değişmezler, Euler karakteristiği ve kalıcı homoloji gibi kavramlar ele alınmıştır; yayımlanmış araştırmalar üzerinden bu kavramların onkoloji alanındaki kullanım biçimleri değerlendirilmiştir. Özellikle topolojik özelliklerin karmaşık verilerin yapısını temsil etmedeki rolü, farklı yöntemlerin matematiksel amaçları ve bu yaklaşımların sınırlılıkları üzerinde durulmuştur. Çalışma, deneysel veya klinik bir uygulama yerine, bilimsel literatürün incelenmesine ve matematiksel kavramların teorik açıklamalarına dayanmaktadır. Böylece topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarındaki yeri matematiksel bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Topoloji, kanser araştırmaları, topolojik değişmezler, bağlı bileşenler, Euler karakteristiği, kalıcı homoloji.

THE USE OF TOPOLOGICAL METHODS IN CANCER RESEARCH: A MATHEMATICAL INVESTIGATION

ABSTRACT
Topological methods provide mathematical tools for investigating properties of complex structures, such as connectivity, holes, and shape. Studies on the use of these methods in cancer research demonstrate that various topological approaches have been developed to evaluate the structural characteristics of biological and clinical data.
This study aims to examine the mathematical foundations of topological methods used in cancer research and their applications in the existing literature. Accordingly, concepts such as connected components, topological invariants, the Euler characteristic, and persistent homology are discussed, and their applications in oncology are evaluated through published studies. Particular emphasis is placed on the role of topological features in representing the structure of complex data, the mathematical objectives of different methods, and the limitations of these approaches. Rather than involving experimental or clinical applications, this study is based on a review of the scientific literature and theoretical explanations of mathematical concepts. Thus, it aims to evaluate the role of topological methods in cancer research from a mathematical perspective.
Keywords: Topology, cancer research, topological invariants, connected components, Euler characteristic, persistent homology.

1. GİRİŞ

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalmasının yanı sıra çevre dokularla kurdukları ilişkilerde ve doku mimarisinde meydana gelen değişimlerle de karakterize edilen karmaşık bir biyolojik süreçtir. Tümör gelişimi sırasında kanser hücrelerinin çevre dokularla etkileşimi, farklı hücre topluluklarının bir araya gelmesi veya birbirinden ayrılması ve doku içerisindeki yapısal bütünlüğün değişmesi, hastalığın incelenmesinde dikkate alınması gereken unsurlardır. Bu değişimlerin anlaşılması amacıyla biyolojik araştırmalarda matematiksel modelleme, geometri, istatistik ve topoloji gibi farklı matematiksel yaklaşımlardan yararlanılmaktadır.

Topoloji, geometrik yapıların uzunluk ve açı gibi ölçüsel özelliklerinden ziyade bağlılık, bileşen sayısı ve delik gibi yapısal özellikleriyle ilgilenir. Bu yönüyle, biyolojik dokuların yalnızca biçimsel özelliklerini değil, hücre topluluklarının birbirleriyle olan bağlantılarını ve dokunun genel organizasyonunu incelemek için de matematiksel bir çerçeve sunar. Özellikle tümör gelişimi ve yayılımı sırasında hücre topluluklarının parçalanması, birbirleriyle bağlantı kurması veya çevre dokular içerisinde farklı yapılar oluşturması, topolojik özellikler üzerinden değerlendirilebilecek değişimlerdir.

Topolojik yaklaşımın kanser araştırmalarındaki kullanımına örnek olarak Munn (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışma gösterilebilir. Araştırmacı, tümör gelişimi ve metastaz sürecinde doku bölmelerinin bağlantısında meydana gelen değişimleri üç boyutlu bir matematiksel model üzerinden incelemiş ve bu değişimleri Euler karakteristiği yardımıyla değerlendirmiştir. Çalışmada parçalanma, döngüler ve boşluklar gibi topolojik özelliklerin tümör dokusunun organizasyonunu anlamada taşıdığı önem ortaya konulmuştur.

Bu yaklaşım, Euler karakteristiğinin yalnızca soyut bir matematiksel değişmez olmadığını, biyolojik yapıların topolojik özelliklerini incelemede de kullanılabileceğini göstermektedir (Munn, 2013).

Kanser araştırmalarında topolojik yöntemlerin kullanımına ilişkin bir diğer önemli yönelim, hücrelerin mekânsal dağılımından elde edilen verilerin cebirsel topoloji kavramlarıyla incelenmesidir. Singh ve arkadaşları (2014), meme kanseri histoloji görüntülerindeki hücre çekirdeklerinin mekânsal düzenini değerlendirmek amacıyla Betti dizileri ve kalıcılık diyagramları gibi topolojik tanımlayıcılardan yararlanmıştır. Loughrey ve arkadaşları (2021) ise topolojik veri analizinin kanser araştırmalarındaki kullanım alanlarını ele alarak bu yaklaşımın biyomedikal verilerdeki yapısal örüntülerin incelenmesine sağlayabileceği katkıları tartışmıştır. Bu çalışmalar, topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarında farklı matematiksel temeller ve veri temsilleri üzerinden kullanılabildiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, kanser araştırmalarında kullanılan topolojik yöntemleri matematiksel açıdan incelemek ve bu yöntemlerin temel kavramları arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır. Bu doğrultuda öncelikle topolojik uzay, dijital komşuluk, bağlılık, bağlı bileşen, Betti sayıları ve Euler karakteristiği gibi kavramların matematiksel temelleri ele alınmıştır. Ardından kanser araştırmalarında bu kavramlardan yararlanan çalışmalar incelenmiş; dijital topoloji ile kalıcı homoloji yaklaşımları kullanım biçimleri bakımından değerlendirilmiştir. Son olarak temel topolojik özelliklerin anlaşılmasını desteklemek amacıyla matematiksel örnekler ve şematik gösterimler sunulmuştur.

Çalışma, mevcut literatürün matematiksel kavramlar çerçevesinde değerlendirilmesine dayanan kuramsal bir inceleme niteliğindedir. Bu kapsamda amaç, klinik bir değerlendirme yapmak veya yeni bir görüntü analizi yöntemi geliştirmek değil; topolojik yöntemlerin matematiksel yapısını, kanser araştırmalarındaki kullanım biçimlerini ve bu yöntemlerin sunduğu inceleme olanaklarını bütünlüklü biçimde ortaya koymaktır.

2. TOPOLOJİK YAPILAR VE TEMEL KAVRAMLAR

Topoloji, matematiğin geometrik yapıların sürekli dönüşümler altında korunan özelliklerini inceleyen dalıdır. Uzaklık ve açı gibi ölçüsel özelliklerden bağımsız olarak noktalar arasındaki ilişkiler, kümelerin bağlılığı ve yapısal bütünlük topolojik incelemenin temel konuları arasında yer alır. Bu nedenle topoloji, bir şeklin tam biçiminden çok, şeklin temel yapısal özellikleriyle ilgilenir (Munkres, 2000).

Tanım 1. (Topolojik Uzay): Bir X kümesi üzerinde tanımlanan τ ailesi aşağıdaki koşulları sağlıyorsa (X, τ) ikilisine topolojik uzay denir:

1. Boş küme ve X kümesi, τ ailesinin elemanıdır:

$$\emptyset \in \tau, \quad X \in \tau.$$

2. τ ailesine ait kümelerin herhangi bir birleşimi yine τ ailesine aittir:

$$U_i \in \tau \Rightarrow \bigcup_{i \in I} U_i \in \tau$$

3. τ ailesine ait sonlu sayıdaki kümenin kesişimi yine τ ailesine aittir:

$$U_1, U_2, \dots, U_n \in \tau \Rightarrow \bigcap_{i=1}^{n} U_i \in \tau$$

Bu koşulları sağlayan τ ailesinin elemanlarına açık kümeler, τ ailesine ise X üzerinde tanımlı topoloji denir. Böylece bir topolojik uzay, yalnızca noktaların oluşturduğu bir kümeden ibaret olmayıp bu noktalar üzerinde hangi alt kümelerin açık kabul edildiğini belirleyen bir yapıya sahiptir (Munkres, 2000).

Örnek 1: $X = \{a, b, c\}$ kümesi ele alınsın. Bu küme üzerinde

$\tau = \{\emptyset, X, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}$

ailesi bir topoloji oluşturur. Çünkü boş küme ve X bu ailede bulunmaktadır; ailenin elemanlarının herhangi bir birleşimi ve sonlu sayıdaki elemanlarının kesişimi yine \(\tau\) ailesinin bir elemanıdır. Dolayısıyla (X, τ) bir topolojik uzaydır.

Topolojik uzaylarda önemli kavramlardan biri sürekliliktir. İki topolojik uzay arasındaki bir fonksiyonun sürekliliği, açık kümelerin ters görüntülerinin de açık olması koşuluyla tanımlanır.

Tanım 2. (Sürekli Fonksiyon): (X, τ_X) ve (Y, τ_Y) iki topolojik uzay, $f: X \longrightarrow Y$ bir fonksiyon olsun. Y uzayındaki her açık V kümesi için $f^{-1}(V)$ kümesi X uzayında açık ise f fonksiyonuna **sürekli** denir.

Birbirine sürekli ve birebir-örten bir fonksiyonla bağlanan iki topolojik uzay arasında, ters fonksiyonun da sürekli olması durumunda homeomorfizma ilişkisi kurulur. Bu ilişki, iki uzayın topolojik açıdan eşdeğer olduğunu ifade eder.

Örneğin bir çember ile bir elips, geometrik biçimleri farklı olmasına rağmen homeomorfiktir. Çünkü bu iki yapı arasında sürekliliği ve tersinin sürekliliğini sağlayan birebir-örten bir dönüşüm kurulabilir. Bu durumda uzunluk ve biçim değişebilse de topolojik yapı korunur.



Şekil 1- Çember ve elips arasındaki homeomorfizmanın şematik gösterimi.

Topolojik incelemelerde bir diğer önemli kavram topolojik değişmezlerdir. Bir uzayın homeomorfizmalar altında korunan özelliklerine topolojik değişmez denir. Bağlı bileşen sayısı ve delik sayısı bu özelliklere örnek olarak verilebilir. Bir yapının bu özellikleri, geometrik görünümündeki değişikliklerden bağımsız olarak topolojik açıdan değerlendirilmesini sağlar.

Bağlılık, bir topolojik uzayın tek parça hâlinde olup olmadığını inceleyen temel kavramlardan biridir. Bir uzay, birbirinden ayrık ve boş olmayan iki açık kümenin birleşimi biçiminde ifade edilemiyorsa bağlantılıdır. Bağlantılılık, bir yapının parçalanmadan bütünlüğünü koruyup korumadığını belirlemede kullanılır.

Bu kavramlar, ayrık noktalar ve ızgara yapıları üzerinde tanımlanan dijital topolojinin matematiksel temelini oluşturur. Bununla birlikte dijital yapılarda bağlılık, klasik topolojideki açık kümeler yaklaşımından farklı olarak belirli komşuluk ilişkileri üzerinden ele alınır. Bu nedenle dijital topolojide noktalar arasındaki komşuluğun ve bağlantının açık biçimde tanımlanması gerekir.

2.1. Dijital Topoloji ve Komşuluk İlişkileri

Klasik topolojide uzaylar genel kümeler ve bu kümeler üzerinde tanımlanan topolojiler aracılığıyla incelenirken dijital topolojide noktalar, ayrık bir ızgara yapısı üzerinde ele alınır. Özellikle dijital görüntülerin matematiksel olarak temsil edilmesinde kullanılan bu yaklaşımda, noktalar arasındaki ilişkiler belirli komşuluk kurallarıyla tanımlanır.

İki boyutlu dijital düzlem, tam sayı koordinatlarından oluşan

$$\mathbb{Z}^2 = \{(x,y) | x,y \in \mathbb{Z}\}$$

kümesiyle ifade edilir. Bu düzlemde her nokta, koordinatları tam sayı olan bir ızgara noktasını temsil eder (Kong & Rosenfeld, 1989).

Tanım 3. (4-Komşuluk): $p = (x,y)$ noktası için 4-komşuluk kümesi,

$$N_4(p) = \{(x-1,y),(x+1,y),(x,y-1),(x,y+1)\}$$

şeklinde tanımlanır. Buna göre bir noktanın 4-komşuları yalnızca yatay ve düşey doğrultularda bulunan, kendisine bir birim uzaklıktaki noktalardır.

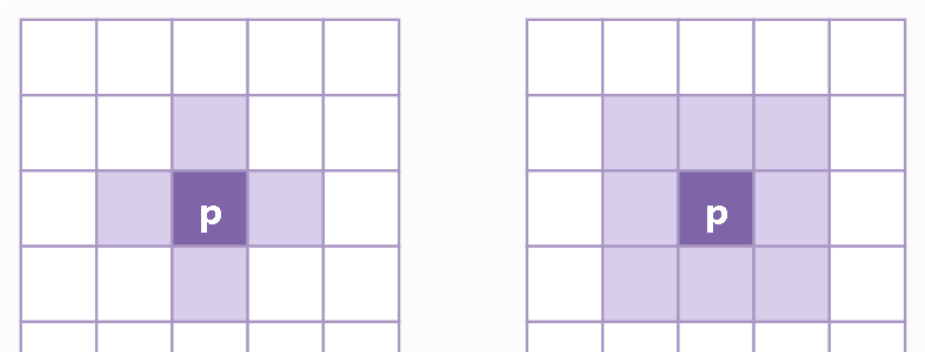
Tanım 4. (8-Komşuluk): $p = (x,y)$ noktasının 8-komşuluk kümesi,

$$N_8(p) = \{(x-1,y-1),(x,y-1),(x+1,y-1),\\ (x-1,y),(x+1,y),(x-1,y+1),\\ (x,y+1),(x+1,y+1)\}$$

biçiminde tanımlanır. Bu komşulukta yatay ve düşey doğrultulara ek olarak çapraz doğrultulardaki noktalar da dikkate alınır. Dolayısıyla her nokta için 4-komşuluk kümesi, 8-komşuluk kümesinin bir alt kümesidir:

$$N_4(p) \subset N_8(p)$$

Örnek 2: $p = (2,2)$ noktası ele alınsın. Bu noktanın 4-komşuları
$N_4(p) = \{(1,2),(3,2),(2,1),(2,3)\}$
olurken 8-komşuları
$N_8(p) = \{(1,1),(2,1),(3,1),(1,2),(3,2),(1,3),(2,3),(3,3)\}$Denklemi buraya yazın.
şeklindedir. Görüldüğü üzere 4-komşulukta dört nokta, 8-komşulukta ise sekiz nokta bulunmaktadır.



Şekil 2- 4-komşuluk (sol) ve 8-komşuluk (sağ) ilişkileri. Merkezdeki koyu renkli hücre p noktasını, açık mor hücreler ise ilgili komşuluk kümesini göstermektedir.

Dijital düzlemde komşuluk ilişkilerini açıklamak için uzaklık fonksiyonlarından da yararlanılır. 4-komşulukla ilişkili uzaklık Manhattan uzaklığı, 8-komşulukla ilişkili uzaklık ise Chebyshev uzaklığı olarak adlandırılır.

Tanım 5. (Manhattan Uzaklığı): $p = (x_1,y_1)$ ve $q = (x_2,y_2)$ noktaları arasındaki Manhattan uzaklığı
$d_4(p,q) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$
şeklinde tanımlanır. Bu uzaklıkta yatay ve düşey hareketlerin toplamı dikkate alınır. Noktalar arasındaki en kısa yol, yalnızca yatay ve düşey doğrultularda ilerlenerek oluşturulur.

Tanım 6. (Chebyshev Uzaklığı): Aynı noktalar arasındaki Chebyshev uzaklığı
$d_8(p,q) = max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$
şeklinde tanımlanır. Bu uzaklıkta iki koordinat arasındaki mutlak farkların büyük olanı esas alınır. Yatay, düşey ve çapraz hareketlere izin verildiğinden satranç tahtasındaki şahın hareketine benzer bir uzaklık ölçüsü elde edilir.

Örnek 3: $p = (1,1)$ ve $q = (3,2)$ noktaları ele alınsın. Bu iki nokta arasındaki Manhattan uzaklığı
$d_4(p,q) = |3-1| + |2-1| = 3$
olarak hesaplanır. Chebyshev uzaklığı ise
$d_8(p,q) = max\{|3-1|, |2-1|\} = 2$
şeklindedir. Dolayısıyla aynı iki nokta arasındaki uzaklık, seçilen komşuluk yapısına göre farklı değerler almaktadır.



Şekil 3- Manhattan ve Chebyshev uzaklıklarının gösterimi. Şekilde iki nokta arasındaki en kısa hareket yolları şematik olarak gösterilmiştir.

Bir dijital yapının incelenmesinde yalnızca nesne noktalarının değil, nesnenin dışında kalan arka plan noktalarının komşuluk ilişkileri de önem taşır. Özellikle çapraz komşulukların hem nesne hem de arka plan için aynı anda kullanılması, dijital düzlemde bağlantı bakımından belirsizliklere yol açabilir. Bu nedenle dijital topolojide tamamlayıcı komşuluk yaklaşımı kullanılır. İki boyutlu dijital yapılarda nesne için 4-komşuluk seçildiğinde arka plan için 8-komşuluk; nesne için 8-komşuluk seçildiğinde ise arka plan için 4-komşuluk tercih edilir (Kong & Rosenfeld, 1989).
Bu yaklaşım, nesne ve arka planın bağlantı ilişkilerinin birlikte değerlendirilmesini sağlar. Böylece dijital yapılarda bağlantının tutarlı biçimde tanımlanması için gerekli matematiksel çerçeve oluşturulur.

2.2. Dijital Bağlılık ve Bağlı Bileşenler

Dijital topolojide bir kümenin bağlantılı olup olmadığının belirlenmesi, küme içerisindeki noktaların seçilen komşuluk ilişkisine göre birbirlerine ulaşabilmesine bağlıdır. Bu nedenle dijital bağlılık kavramı, noktalar arasında tanımlanan yollar aracılığıyla incelenir. Bir kümenin bütün noktalarının uygun bir yol ile birbirine bağlanabilmesi, o kümenin bağlı bir yapı oluşturduğunu gösterir (Kong & Rosenfeld, 1989).

Tanım 7. (Dijital Yol): $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ bir dijital küme ve $k \in \{4,8\}$ olsun. A içerisinde bulunan

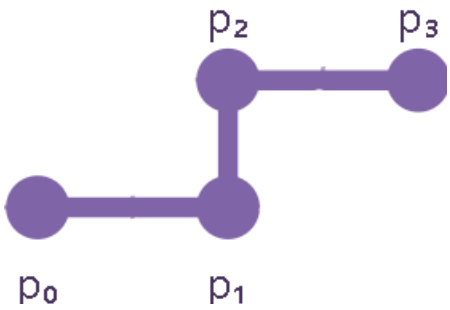
$p_0, p_1, \dots, p_n \in A$

noktalar dizisi için her $i = 1,2,\dots,n$ değerinde p_{i-1} ve p_i noktaları k-komşu ise bu diziye A içerisinde bir ***k*-dijital yol** denir. Yolun başlangıç noktası p_0, bitiş noktası ise p_n olarak adlandırılır.

Örnek 4: $A = \{(0,0),(1,0),(1,1),(2,1)\}$ kümesi ele alınsın. Bu kümede

$p_0 = (0,0), \quad p_1 = (1,0), \quad p_2 = (1,1), \quad p_3 = (2,1)$

noktalarından oluşan dizi bir 4-dijital yoldur. Çünkü ardışık noktalar arasındaki her geçiş yatay veya düşey doğrultuda gerçekleşmektedir.



Şekil 4- p_0'dan p_3'e ardışık 4-komşu noktalar üzerinden ilerleyen dijital yol.

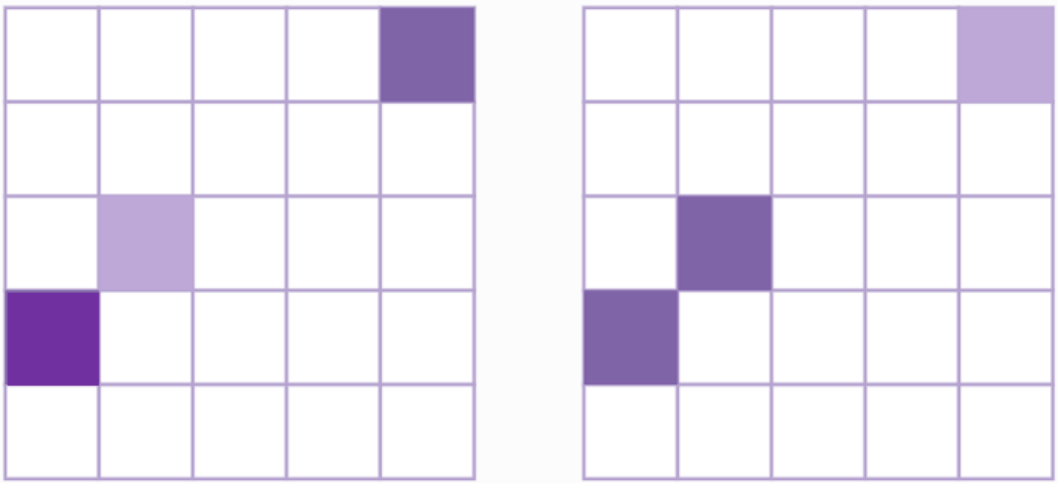
Tanım 8. (k-Bağlı Küme): $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ bir dijital küme olsun. A içerisindeki herhangi iki nokta arasında A 'nın dışına çıkmadan bir k-dijital yol oluşturulabiliyorsa A kümesine ***k*-bağlı küme** denir. Başka bir ifadeyle kümenin bütün noktaları, seçilen komşuluk ilişkisine göre birbirine ulaşabilir durumdadır.

Tanım 9. (Bağlı Bileşen): Bir dijital kümenin kendi içerisinde k-bağlı olan ve daha büyük bir k-bağlı alt kümeye genişletilemeyen maksimal alt kümelerine ***k*-bağlı bileşen** denir. Bir A kümesinin k-bağlı bileşenlerinin sayısı $c_k(A)$ ile gösterilir.

Örnek 5: $A = \{(0,0), (1,1), (4,4)\}$ dijital kümesi ele alınsın. İlk iki nokta çapraz komşu olduğundan 8-bağlılık altında aynı bileşende yer alır. Ancak 4-bağlılık altında birbirlerine komşu değildir. Üçüncü nokta ise diğer iki noktadan da ayrıdır. Bu nedenle

$c_4(A) = 3, \qquad c_8(A) = 2$

elde edilir.



Şekil 5- -bağlılık Üç ayrı bileşen -bağlılık iki ayrı bileşen

Bu örnek, bağlı bileşen sayısının seçilen komşuluk ilişkisine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir. İki boyutlu dijital düzlemde 4-komşuluk, 8-komşuluğa göre daha kısıtlayıcı bir ilişki tanımlar. Bu nedenle bir kümenin 4-bağlı olması, aynı zamanda 8-bağlı olmasını gerektirir.

Önerme 1: Herhangi bir $A \subseteq \mathbb{Z}^2$ dijital kümesi için
$c_8(A) \leq c_4(A)$
eşitsizliği geçerlidir.
İspat: $N_4(p) \subseteq N_8(p)$ olduğundan 4-komşu olan iki nokta aynı zamanda 8-komşudur. Dolayısıyla A içerisinde bir 4-dijital yol bulunuyorsa aynı nokta dizisi bir 8-dijital yol da oluşturur. Bu nedenle 4-bağlı bir bileşen, 8-bağlılık altında daha büyük bir bileşenin parçası olabilir. Ancak 8-bağlı bir yapı, 4-bağlılık altında birden fazla bileşene ayrılabilir. Bu durum, 8-bağlı bileşen sayısının 4-bağlı bileşen sayısından fazla olamayacağını gösterir. Böylece
$c_8(A) \leq c_4(A)$
sonucuna ulaşılır.
Dijital bağlılık ve bağlı bileşenler, biyolojik dokulardaki hücre topluluklarının mekânsal dağılımını matematiksel olarak incelemek açısından önem taşır. Bir dijital yapının kaç bileşenden oluştuğunun belirlenmesi, yapı içerisindeki parçalanma ve bağlantı ilişkilerinin değerlendirilmesine imkân verir. Bu nedenle bağlı bileşen sayısı, kanser araştırmalarında kullanılan topolojik incelemelerin temel ölçütlerinden biri olarak ele alınabilir.

2.3. Delikler ve Betti Sayıları

Topolojik yapıların incelenmesinde bağlı bileşenlerin yanı sıra, yapı içerisinde bulunan döngülerin ve boşlukların belirlenmesi de önem taşır. Bir nesnenin yalnızca kaç parçadan oluştuğunu bilmek, topolojik özelliklerini bütünüyle açıklamak için yeterli değildir. Yapının içerisinde bulunan delikler ve daha yüksek boyutlu boşluklar da topolojik yapının karakterini belirleyen unsurlardır. Bu özelliklerin matematiksel olarak ifade edilmesinde Betti sayılarından yararlanılır (Munkres, 2000).
Betti sayıları, bir topolojik yapının farklı boyutlardaki bağımsız topolojik özelliklerinin sayısını ifade eden değişmezlerdir. Bu sayılar, yapının bağlı bileşenlerini, bağımsız döngülerini ve daha yüksek boyutlu boşluklarını belirlemeye yardımcı olur. Genel olarak β_i ile gösterilen i. Betti sayısı, i. boyuttaki homoloji grubunun **rankı** olarak tanımlanır.
Tanım 10. (Betti Sayıları): Bir topolojik yapı K için Betti sayıları aşağıdaki şekilde ifade edilir:

- β_0: Yapıdaki bağlı bileşenlerin sayısını gösterir.
- β_1: Birbirinden bağımsız döngülerin sayısını gösterir.
- β_2: Üç boyutlu yapılardaki çevrelenmiş boşlukların sayısını gösterir.

Bu tanımlara göre iki boyutlu yapılarda β_0, yapının kaç ayrı bağlı bileşenden oluştuğunu; β_1 ise yapı içerisinde bulunan bağımsız deliklerin sayısını ifade eder. Bu tür düzlemsel yapılarda $\beta_2 = 0$ olduğundan Euler karakteristiği $\chi = \beta_0 - \beta_1$ biçiminde hesaplanır. Üç boyutlu yapılarda ise β_2, kapalı yüzeylerle çevrelenmiş boşlukların belirlenmesinde kullanılır. Dolayısıyla Betti sayılarının anlamı, incelenen yapının boyutuna bağlı olarak değişmektedir.
Dijital topolojide delik kavramı değerlendirilirken nesne ve arka plan arasındaki komşuluk ilişkilerinin tutarlı biçimde belirlenmesi gerekir. Özellikle iki boyutlu dijital düzlemde bir nesnenin çevrelediği ve arka planın bağlantılı bir bölgesini oluşturan boşluklar delik olarak ele alınabilir. Bu nedenle nesne ve arka plan için tamamlayıcı komşuluk ilişkilerinin kullanılması, delik sayısının doğru belirlenmesi açısından önemlidir (Kong & Rosenfeld, 1989).

Örnek 6: Aşağıdaki dijital yapı ele alınsın:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Bu örnekte nesne noktaları için 4-komşuluk, arka plan noktaları için ise tamamlayıcı komşuluk olan 8-komşuluk kabul edilmektedir. Bu gösterimde 1 değerleri nesne noktalarını, 0 değeri ise merkezde bulunan arka plan noktasını temsil etmektedir. Nesne noktaları birlikte değerlendirildiğinde tek bir bağlı bileşen oluşturur. Bununla birlikte merkezdeki arka plan noktası nesne tarafından çevrelendiğinden yapı bir delik içerir.

Bu nedenle yapının Betti sayıları

$$\beta_0 = 1, \qquad \beta_1 = 1$$

şeklindedir. Burada $\beta_0 = 1$ olması yapının tek bir bağlı bileşenden oluştuğunu, $\beta_1 = 1$ olması ise bir bağımsız delik içerdiğini göstermektedir.

Bu örnek, bağlı bileşen sayısı aynı olan iki yapının delik sayılarının farklı olabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla yalnızca bağlı bileşen sayısının belirlenmesi, bir dijital yapının topolojik özelliklerini açıklamak için yeterli değildir.

Betti sayıları, iki ve üç boyutlu yapılarda farklı topolojik özelliklerin birlikte değerlendirilmesine de olanak sağlar. İki boyutlu sonlu hücre komplekslerinde temel olarak bağlı bileşenler ve delikler incelenirken, üç boyutlu yapılarda bunlara ek olarak çevrelenmiş boşluklar da değerlendirilir. Bu nedenle üç boyutlu yapılarda β_2 değerinin de hesaba katılması gerekir.

Betti sayıları, Euler karakteristiği ile doğrudan ilişkilidir. Euler-Poincaré bağıntısı olarak bilinen bu ilişki, topolojik yapının Euler karakteristiğinin Betti sayılarının işaretli toplamı biçiminde ifade edilmesini sağlar. İki boyutlu yapılarda

$$\chi = \beta_0 - \beta_1$$

üç boyutlu yapılarda ise genel olarak

$$\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$$

bağıntıları kullanılır. İncelenen üç boyutlu komplekslerde $\beta_3 = 0$ olması durumunda bağıntı $\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2$ biçimine indirgenir (Munkres, 2000).

Kanser araştırmaları açısından Betti sayıları, hücre ve doku yapılarının mekânsal organizasyonunu matematiksel olarak incelemek için kullanılan topolojik ölçütler arasında yer almaktadır. Hücre topluluklarının kaç ayrı bileşenden oluştuğunun, yapılar arasında ne tür döngüsel ilişkiler bulunduğunun ve boşlukların nasıl dağıldığının belirlenmesi, doku mimarisinin topolojik açıdan değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Bu yönüyle Betti sayıları, biyolojik yapıların bağlantılılık ve boşluk özelliklerini sayısal olarak ifade etmeye imkân verir.

2.4. Euler Karakteristiği

Euler karakteristiği, bir topolojik yapının temel özelliklerini sayısal olarak ifade eden topolojik değişmezlerden biridir. Sonlu hücre komplekslerinde köşe, kenar ve yüzlerin sayıları arasındaki ilişki üzerinden hesaplanır. Bu özellik, farklı geometrik biçimlere sahip yapıların topolojik açıdan karşılaştırılmasına olanak sağlar (Munkres, 2000).

Tanım 11. (Euler Karakteristiği): Sonlu bir iki boyutlu hücre kompleksinde V köşe sayısını, E kenar sayısını ve F yüz sayısını göstermek üzere Euler karakteristiği

$$\chi = V - E + F$$

bağıntısıyla tanımlanır.

Üç boyutlu hücre komplekslerinde ise köşeler, kenarlar, yüzler ve üç boyutlu hücreler birlikte değerlendirilir. Bu durumda C üç boyutlu hücre sayısını göstermek üzere Euler karakteristiği

$$\chi = V - E + F - C$$

şeklinde ifade edilir.

Euler karakteristiği, Betti sayıları kullanılarak da hesaplanabilir. Sonlu boyutlu bir hücre kompleksinde Euler-Poincaré bağıntısına göre

$$\chi = \sum_{i=0}^{n} (-1)^i \beta_i$$

eşitliği geçerlidir.

Buna göre iki boyutta

$\chi = \beta_0 - \beta_1$

üç boyutta ise genel olarak

$\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$

bağıntıları elde edilir. İncelenen üç boyutlu komplekslerde $\beta_3 = 0$ olması durumunda bağıntı $\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2$ biçimine indirgenir. Bu eşitlikler, Euler karakteristiğinin bir yapının bağlı bileşenleri ve farklı boyutlardaki döngü veya boşluklarıyla ilişkisini ortaya koyar (Munkres, 2000).

Örnek 7: Euler karakteristiğinin hesaplanması için önceki bölümde ele alınan üç dijital yapı yeniden değerlendirilsin. Yapıların birim karelerden oluşan sonlu hücre kompleksleri olduğu kabul edilsin.

a) Dolu kare yapı: Üç satır ve üç sütundan oluşan dolu kare yapıda 16 köşe, 24 kenar ve 9 yüz bulunmaktadır. Dolayısıyla

$$\begin{aligned} \chi(A_1) &= V - E + F \\ &= 16 - 24 + 9 \\ &= 1 \end{aligned}$$

elde edilir.

b) Merkezi boş kare yapı: Üç satır ve üç sütunluk yapıdan merkezdeki birim kare çıkarıldığında 16 köşe, 24 kenar ve 8 yüz kalır. Bu durumda

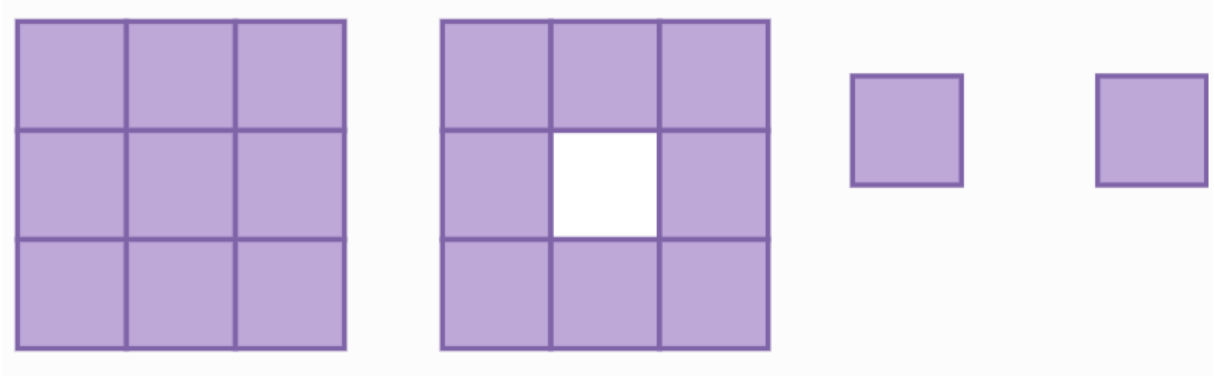
$$\begin{aligned} \chi(A_2) &= V - E + F \\ &= 16 - 24 + 8 = 0 \end{aligned}$$

bulunur.

c) Birbirinden ayrık iki kare yapı: Birbirine temas etmeyen iki ayrı birim kare ele alındığında toplam 8 köşe, 8 kenar ve 2 yüz bulunmaktadır. Böylece

$$\begin{aligned} \chi(A_3) &= V - E + F \\ &= 8 - 8 + 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$

sonucuna ulaşılır.
Bu sonuçlar Betti sayıları üzerinden de doğrulanabilir. Önceki bölümde elde edilen değerler



A_1 dolu kare $\chi = 1$ A_2 Halka yapı $\chi = 1$ A_3 Ayrık iki kare $\chi = 1$

kullanıldığında
$\chi(A_1) = 1 - 0 = 1,$
$\chi(A_2) = 1 - 1 = 0,$
$\chi(A_3) = 2 - 0 = 2$
eşitlikleri elde edilir. Böylece hücre sayıları üzerinden hesaplanan Euler karakteristiklerinin Betti sayılarıyla elde edilen sonuçlarla aynı olduğu görülür.

Tablo 1- Dijital yapıların Euler karakteristiklerinin karşılaştırılması

Yapı	V	E	F	β_0	β_1	χ
Dolu kare	16	24	9	1	0	1
Halka biçimli kare	16	24	8	1	1	0
Ayrık iki kare	8	8	2	2	0	2

Örneklerde görüldüğü üzere Euler karakteristiği, bir yapının bağlı bileşen sayısı ve delik sayısı hakkında tek bir sayısal değer üzerinden bilgi sunmaktadır. Bununla birlikte aynı Euler karakteristiğine sahip yapıların topolojik özelliklerinin bütünüyle aynı olduğu söylenemez. Dolayısıyla Euler karakteristiği, topolojik yapıyı tanımlamada yararlı olmakla birlikte diğer değişmezlerle birlikte değerlendirilmelidir.
Kanser araştırmaları açısından Euler karakteristiği, hücre topluluklarının ve doku yapılarının mekânsal organizasyonunu incelemek amacıyla kullanılan matematiksel ölçütlerden biridir. Özellikle üç boyutlu tümör modellerinde hücresel bölmelerin parçalanması, tünellerin oluşması ve çevrelenmiş boşlukların değişimi Euler karakteristiği üzerinden değerlendirilebilmektedir (Munn, 2013). Bu nedenle Euler karakteristiği, biyolojik yapıların topolojik özelliklerini matematiksel olarak inceleyen çalışmalarda önemli bir yere sahiptir.

2.5. Kalıcı Homoloji

Kalıcı homoloji, cebirsel topolojinin bir uzantısı olarak değerlendirilen ve bir veri kümesinin farklı ölçeklerdeki topolojik özelliklerini inceleyen bir yöntemdir. Temel amaç, bir yapıda ortaya çıkan bağlı bileşen, döngü ve boşluk gibi özelliklerin hangi aşamada oluştuğunu ve hangi aşamada ortadan kalktığını belirlemektir.
Bu yaklaşımda topolojik özellikler tek bir yapı üzerinden değil, iç içe geçmiş bir yapılar ailesi üzerinden değerlendirilir (Edelsbrunner & Harer, 2010; Ghrist, 2008).

Tanım 12. (Filtrasyon): Bir K hücre veya simplicial kompleksinin alt komplekslerinden oluşan

$K_0 \subseteq K_1 \subseteq \cdots \subseteq K_n$

dizisine **filtrasyon** denir. Bu dizide her kompleks, kendisinden önce gelen kompleksin bütün elemanlarını içerir. Filtrasyon boyunca yeni noktalar, kenarlar ve daha yüksek boyutlu hücreler eklenerek yapının topolojik özellikleri değişebilir.

Filtrasyonun her aşamasında homoloji grupları incelenerek bağlı bileşenler ve döngüler gibi topolojik özelliklerin değişimi takip edilir. Bir topolojik özelliğin ilk ortaya çıktığı aşama doğum (birth), ortadan kalktığı aşama ise ölüm (death) olarak adlandırılır. Bu iki değer arasındaki fark, özelliğin kalıcılığını belirler.

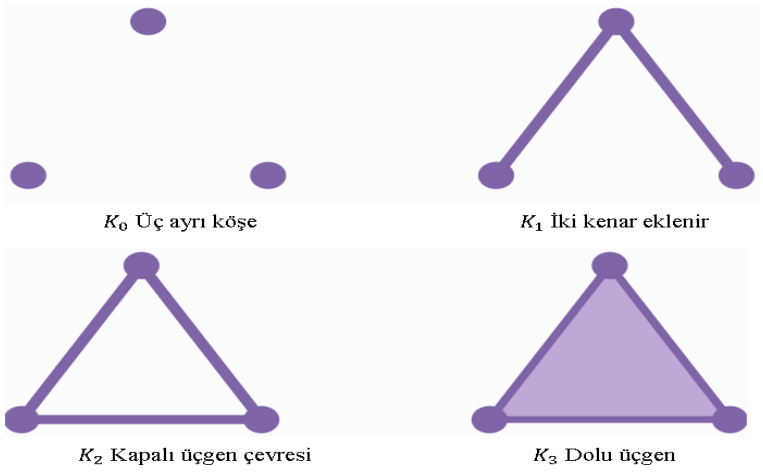
Tanım 13. (Kalıcılık): Bir topolojik özelliğin doğum değeri b, ölüm değeri d olmak üzere kalıcılık değeri $L = d - b$ bağıntısıyla hesaplanır. Kalıcılık değeri büyük olan özellikler, filtrasyon boyunca daha uzun süre varlığını sürdürürken küçük kalıcılık değerine sahip özellikler daha kısa süreli olarak ortaya çıkar.

Örnek 8: Üçgen kompleksinde kalıcı homoloji: Kalıcı homoloji yaklaşımını açıklamak için üç köşeden oluşan bir üçgen yapısı ele alınsın. Bu yapının filtrasyonu dört aşamada oluşturulsun:

- K_0: Üç bağımsız köşe vardır.
- K_1: İki kenar eklenerek tek bağlı bileşen elde edilir.
- K_2: Son kenar eklenerek bir döngü oluşturulur.
- K_3: Üçgenin içi doldurulur ve döngü ortadan kalkar.

Bu aşamalar boyunca komplekslerin içerikleri değişirken topolojik özellikler de farklılaşmaktadır. Filtrasyon parametreleri:

- $t = 0$: Başlangıç yapısı,
- $t = 1$: İlk iki kenarın eklenmesi,
- $t = 2$: Üçüncü kenarın eklenmesi,
- $t = 3$: Üçgenin iç bölgesinin doldurulması.



Şekil 7- Üçgen kompleksinin filtrasyon aşamaları. Filtrasyon boyunca önce köşeler, ardından kenarlar ve son olarak üçgenin iç bölgesi komplekse eklenmektedir.

Her aşamadaki Betti sayıları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

Tablo 2- Betti sayıları tablosu

Aşama	t değeri	β_0	β_1	Topolojik durum
K_0	0	3	0	Üç ayrı bileşen
K_1	1	1	0	Tek bağlı bileşen
K_2	2	1	1	Bir bağımsız döngü
K_3	3	1	0	Dolu üçgen, delik yok

İlk aşamada üç köşe birbirinden bağımsız olduğundan üç bağlı bileşen bulunmaktadır. İkinci aşamada eklenen kenarlar bu bileşenleri birleştirerek tek bir bağlı bileşen oluşturur. Üçüncü aşamada son kenarın eklenmesiyle kapalı bir döngü ortaya çıkar. Son aşamada üçgenin iç bölgesinin eklenmesi ise bu döngünün çevrelediği deliği ortadan kaldırır.
Bu değişim, topolojik özelliklerin doğum ve ölüm kavramlarıyla ifade edilmesini sağlar. Örneğin üçüncü aşamada ortaya çıkan döngü, K_2 aşamasında doğar ve K_3 aşamasında ölür. Bu örnekte delik $t = 2$ aşamasında ortaya çıkar ve $t = 3$ aşamasında kaybolur.
Dolayısıyla bu döngünün kalıcılığı, aşama değerleri esas alındığında

$$L = d - b = 3 - 2 = 1$$

olarak hesaplanır.
Kalıcı homoloji çalışmalarında bu doğum ve ölüm değerleri kalıcılık diyagramları veya barkod diyagramları aracılığıyla gösterilebilir. Kalıcılık diyagramında her topolojik özellik, doğum ve ölüm değerlerinin koordinatlarıyla temsil edilir. Bir özelliğin kalıcılık aralığı uzadıkça diyagonalden uzaklığı artar. Bu gösterim, farklı ölçeklerde ortaya çıkan topolojik özelliklerin karşılaştırılmasını kolaylaştırır.
Kalıcı homoloji ile dijital topoloji arasındaki temel fark, yapıların incelenme biçiminde ortaya çıkar. Dijital topoloji, dijital düzlemde veya daha yüksek boyutlu ayrık uzaylarda tanımlanan komşuluk ilişkileri üzerinden bağlılık ve topolojik özellikleri inceler. Kalıcı homoloji ise bir filtrasyon boyunca farklı aşamalarda ortaya çıkan topolojik özelliklerin sürekliliğini değerlendirir.
Bu nedenle dijital topoloji belirli bir ayrık yapının topolojik özelliklerini tanımlamakta kullanılırken kalıcı homoloji bu özelliklerin farklı ölçeklerdeki değişimini araştırır.
Kanser araştırmalarında kalıcı homoloji, hücre çekirdeklerinin mekânsal dağılımı ve doku içerisindeki yapısal örüntülerin incelenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Singh ve arkadaşları (2014), meme kanseri histoloji görüntülerindeki hücre çekirdeklerinin mekânsal düzenini topolojik tanımlayıcılar aracılığıyla incelemiştir. Qaiser ve arkadaşları (2019) ise histoloji görüntülerinde tümör bölgelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarında kalıcı homoloji özelliklerinden yararlanmıştır. Bu çalışmalar, topolojik özelliklerin farklı ölçeklerde değerlendirilmesinin biyomedikal araştırmalarda sağlayabileceği katkıları göstermektedir.
Sonuç olarak kalıcı homoloji, bir yapının yalnızca belirli bir andaki topolojik özelliklerini değil, bu özelliklerin farklı ölçeklerde ne ölçüde korunduğunu da incelemeye imkân verir. Bu yönüyle dijital topoloji ve diğer cebirsel topoloji yöntemlerini tamamlayan bir yaklaşım olarak

değerlendirilebilir.

3. KANSER ARAŞTIRMALARINDA TOPOLOJİK YÖNTEMLER

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalmasının yanı sıra doku içerisindeki mekânsal düzenin ve hücreler arasındaki ilişkilerin değişmesiyle de karakterize edilen karmaşık bir biyolojik süreçtir. Tümör gelişimi sırasında hücre topluluklarının bir araya gelmesi, çevre dokulara yayılması, parçalanması ve farklı boşluklar oluşturması gibi yapısal değişimler meydana gelebilir. Bu değişimlerin incelenmesinde geometrik ve istatistiksel yöntemlerin yanında topolojik yaklaşımlardan da yararlanılmaktadır.

Topolojik yöntemler, biyolojik yapıların biçiminden bağımsız olarak bağlantı ilişkilerini, bağlı bileşenlerini, döngülerini ve boşluklarını incelemeye imkân verir. Bu kapsamda dijital topoloji, Euler karakteristiği, Betti sayıları ve kalıcı homoloji gibi matematiksel araçlar kanser araştırmalarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Özellikle histolojik görüntülerde hücre çekirdeklerinin dağılımı ve tümör dokusunun mekânsal organizasyonu, topolojik özelliklerin incelenebildiği başlıca alanlardır (Loughrey et al., 2021).

3.1. Tümör Dokularının Topolojik Yapısının İncelenmesi

Tümör dokuları, yalnızca hücre sayısı ve hücre büyüklüğü bakımından değil, hücrelerin birbirleriyle ve çevre dokuyla kurdukları mekânsal ilişkiler bakımından da farklılık gösterir.

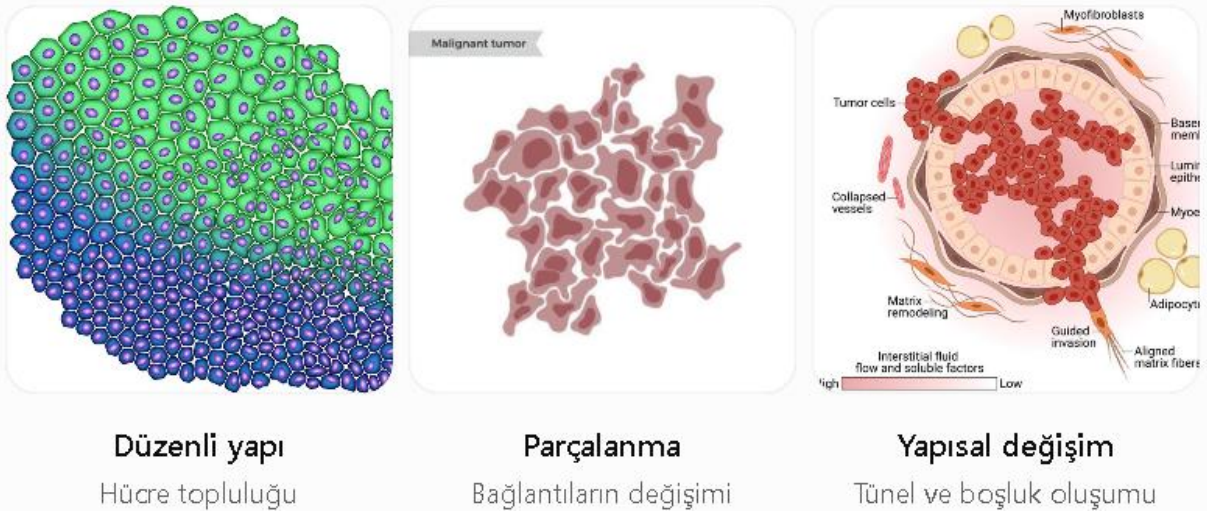
Bu nedenle tümör dokusunun topolojik yapısının incelenmesi, hücre topluluklarının organizasyonunu ve zaman içerisinde meydana gelen yapısal değişimleri anlamak açısından önem taşır.

Munn (2013), kanser hücrelerinin doku içerisindeki hareketini ve metastaz sürecinde meydana gelen yapısal değişimleri üç boyutlu bir matematiksel model üzerinden incelemiştir. Çalışmada tümör hücrelerinin çevre dokuyla etkileşimi, hücrelerin göçü ve doku içerisindeki bağlantıların değişimi ele alınmıştır. Özellikle Euler karakteristiğinden yararlanılarak tümör gelişimi sırasında meydana gelen parçalanma, tünel oluşumu ve çevrelenmiş boşluklar gibi topolojik değişimler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın önemli yönlerinden biri, tümör dokusunun yalnızca iki boyutlu kesitler üzerinden değerlendirilmesinin bazı yapısal ilişkilerin anlaşılmasını güçleştirebileceğine dikkat çekmesidir. Üç boyutlu yapılarda birbirine bağlı görünen veya ayrı algılanan bölgeler, farklı kesitlerde farklı biçimlerde ortaya çıkabilir. Bu nedenle dokunun üç boyutlu topolojik özelliklerinin incelenmesi, hücresel organizasyonun daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlar.

Munn'un çalışmasında kullanılan Euler karakteristiği, üç boyutlu doku yapısının topolojik özelliklerini sayısal olarak değerlendirmek amacıyla ele alınmıştır. Bu çerçevede nesne sayısı, tünel sayısı ve çevrelenmiş boşluklar arasındaki ilişki incelenmiştir.

Dolayısıyla çalışma, Euler karakteristiğinin biyolojik dokuların yapısal değişimini incelemede nasıl kullanılabileceğine ilişkin matematiksel bir örnek sunmaktadır.



Şekil 8- Tümör dokusunda topolojik yapı değişiminin şematik gösterimi

Munn'un (2013) çalışması, tümör dokusundaki yapısal değişimlerin topolojik değişmezler aracılığıyla incelenebileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte üç boyutlu doku modellerinden elde edilen sonuçların iki boyutlu dijital yapılara doğrudan aktarılması mümkün değildir. Kullanılan boyut, hücre temsili ve topolojik yapı açıkça belirtilmelidir.

3.2. Kanser Araştırmalarında Bağlı Bileşenlerin Kullanımı

Kanser dokularının incelenmesinde önemli konulardan biri, hücrelerin ve hücre topluluklarının doku içerisindeki dağılımıdır. Hücrelerin birbirinden ayrılmış gruplar oluşturması, belirli bölgelerde yoğunlaşması veya farklı hücre kümeleri meydana getirmesi, dokunun mekânsal organizasyonu hakkında bilgi sağlayabilir.

Bu tür yapıların incelenmesinde bağlı bileşen analizi kullanılmaktadır. Dijital topoloji açısından bağlı bileşenler, seçilen komşuluk ilişkisine göre birbirine ulaşabilen noktaların oluşturduğu maksimal kümelerdir. Histolojik görüntülerde hücre veya doku bölgeleri dijital kümelerle temsil edildiğinde, bu kümelerin sayısı ve birbirleriyle olan bağlantıları matematiksel olarak değerlendirilebilir.

Majanga ve arkadaşları (2025), meme histolojisi görüntülerindeki kanserli lezyonların belirlenmesine yönelik çalışmalarında bağlı bileşen analizinden yararlanan bir görüntü bölütleme yaklaşımı geliştirmiştir.

Çalışmada aktif konturlar ve bağlı bileşen analizi birlikte ele alınmıştır. Bu yaklaşım, kanserli lezyonların görüntü üzerindeki sınırlarının ve birbirleriyle ilişkili bölgelerinin belirlenmesine yöneliktir.

Bu çalışma, bağlı bileşen kavramının kanser araştırmalarında görüntü temelli incelemelerle nasıl ilişkilendirilebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte kullanılan yöntem yalnızca dijital topolojik bir incelemeden oluşmamaktadır; görüntü bölütleme yaklaşımıyla birlikte uygulanmıştır. Dolayısıyla çalışma, bağlı bileşen analizinin daha geniş bir matematiksel ve hesaplamalı çerçevede kullanılmasına örnek oluşturmaktadır.

Bağlı bileşenlerin sayısının belirlenmesi, doku içerisindeki hücre kümelerinin parçalı veya bütünleşik dağılımının değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Ancak bileşen sayısının tek başına tümörün biyolojik davranışını açıklaması beklenmemelidir. Bu ölçüt, diğer morfolojik ve biyolojik bilgilerle birlikte değerlendirilmesi gereken yapısal bir göstergedir.

3.3. Betti Sayıları ve Delik Yapılarının Kanser Araştırmalarında Kullanımı

Kanser dokularının topolojik incelemesinde yalnızca bağlı bileşenlerin sayısı değil, hücrelerin

oluşturduğu döngüler ve çevreledikleri boşluklar da önem taşır. Özellikle hücre çekirdeklerinin mekânsal dağılımı, doku içerisindeki boşlukların ve bağlantı örüntülerinin incelenmesine olanak sağlayabilir. Bu tür özelliklerin matematiksel olarak tanımlanmasında Betti sayılarından yararlanılmaktadır.

Singh ve arkadaşları (2014), meme kanseri histoloji görüntülerindeki hücre çekirdeklerinin mekânsal düzenini topolojik tanımlayıcılar aracılığıyla incelemiştir.

Çalışmada histolojik görüntülerden elde edilen hücresel dağılımlar, topolojik özellikler üzerinden değerlendirilmiş ve farklı doku örüntülerinin karşılaştırılmasında kalıcı homoloji yaklaşımından yararlanılmıştır.

Bu çalışmanın temel katkısı, hücrelerin yalnızca tek tek geometrik özelliklerine odaklanmak yerine, hücre topluluklarının oluşturduğu mekânsal ilişkileri de incelemesidir. Böylece hücre çekirdeklerinin dağılımı ve birbirleriyle kurdukları ilişkiler topolojik tanımlayıcılarla ifade edilebilmiştir.

Betti sayıları bu tür incelemelerde bağlı bileşenlerin ve döngülerin belirlenmesi açısından önemlidir. Örneğin β_0, hücre topluluklarının kaç ayrı bileşenden oluştuğunu; β_1 ise iki boyutlu temsil içerisinde ortaya çıkan bağımsız döngüleri ifade eder.

Bu değerlerin karşılaştırılması, farklı doku örneklerinin topolojik organizasyonları arasındaki farklılıkların incelenmesine yardımcı olabilir.

Bununla birlikte Betti sayılarının biyolojik anlamı, kullanılan matematiksel temsil ve veri yapısına bağlıdır. Bir histolojik görüntüde belirlenen boşlukların doğrudan biyolojik bir yapıyı temsil ettiği varsayılmamalıdır. Bu nedenle topolojik ölçütlerin elde edilme biçimi ve yorumlanma sınırları açıkça belirtilmelidir.

3.4. Euler Karakteristiğinin Kanser Araştırmalarındaki Yeri

Euler karakteristiği, tümör dokularının topolojik özelliklerini tek bir sayısal değerle ifade edebilmesi bakımından kanser araştırmalarında kullanılan önemli ölçütlerden biridir. Hücre topluluklarının bağlantı yapısı, döngüleri ve boşlukları arasındaki ilişkiyi değerlendirmeye yardımcı olur.

Munn (2013), üç boyutlu tümör gelişim modelinde Euler karakteristiğini kullanarak doku topolojisinin zaman içerisindeki değişimini incelemiştir.

Çalışmada hücresel yapıların parçalanması, tünellerin oluşması ve çevrelenmiş boşlukların meydana gelmesi gibi değişimler topolojik açıdan değerlendirilmiştir.

İki boyutlu düzlemsel sonlu hücre komplekslerinde $\beta_2 = 0$ olduğundan Euler karakteristiği

$$\chi = \beta_0 - \beta_1$$

bağıntısıyla ifade edilirken üç boyutlu komplekslerde ise genel olarak

$$\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$$

eşitliği geçerlidir. İncelenen üç boyutlu komplekslerde $\beta_3 = 0$ olması durumunda bu bağıntı

$$\chi = \beta_0 - \beta_1 + \beta_2$$

biçimine indirgenir. Bu ayrım, kanser araştırmalarında kullanılan topolojik ölçütlerin yorumlanması açısından önemlidir. Çünkü iki boyutlu bir histolojik kesitte gözlenen delik veya döngü ile üç boyutlu bir dokuda bulunan tünel ya da çevrelenmiş boşluk aynı matematiksel özelliği temsil etmez.

Euler karakteristiğinin önemli avantajı, bir yapının farklı topolojik özelliklerini tek bir değişmez altında birleştirmesidir. Bununla birlikte aynı Euler karakteristiğine sahip farklı yapıların bulunabilmesi, bu ölçütün tek başına yeterli olmadığını gösterir. Bu nedenle bağlı bileşen sayısı ve Betti sayıları gibi diğer topolojik değişmezlerle birlikte değerlendirilmesi daha anlamlıdır.

3.5. Kalıcı Homolojinin Kanser Araştırmalarındaki Kullanımı

Kalıcı homoloji, kanser araştırmalarında özellikle histolojik görüntülerdeki hücresel dağılımın ve doku örüntülerinin farklı ölçeklerde incelenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, hücrelerin mekânsal düzeninde ortaya çıkan topolojik özelliklerin belirli bir ölçeğe bağlı kalmadan değerlendirilmesine imkân verir.

Singh ve arkadaşlarının (2014) çalışması, histoloji görüntülerinden elde edilen topolojik tanımlayıcıların kanser dokularının incelenmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Qaiser ve arkadaşları (2019) ise histoloji görüntülerindeki tümör bölgelerinin belirlenmesi amacıyla kalıcı homoloji özelliklerini derin evrişimli sinir ağlarından elde edilen özelliklerle birlikte kullanmıştır.

Qaiser ve arkadaşlarının çalışmasında kalıcı homoloji, görüntülerdeki tümör bölgelerinin belirlenmesine yönelik hesaplamalı bir yaklaşımın parçasıdır. Bu yönüyle çalışma, topolojik özelliklerin yalnızca matematiksel tanımlayıcı olarak değil, farklı görüntü analizi yöntemleriyle birlikte de değerlendirilebildiğini göstermektedir.

Loughrey ve arkadaşları (2021) ise topolojik veri analizinin kanser araştırmalarındaki kullanım alanlarını genel olarak incelemiştir. Çalışmada topolojik yöntemlerin hücresel organizasyon, doku mimarisi ve biyolojik verilerin yapısal özelliklerinin değerlendirilmesi bakımından sunduğu olanaklar ele alınmıştır.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde kalıcı homolojinin kanser araştırmalarında özellikle çok ölçekli yapısal örüntülerin incelenmesine katkı sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte kalıcı homoloji ile dijital topoloji birbirinden ayrılmalıdır. Dijital topoloji belirli komşuluk ilişkileri üzerinden ayrık yapıların özelliklerini incelerken kalıcı homoloji, filtrasyon boyunca değişen topolojik özellikleri değerlendirir.

3.6. Literatürdeki Çalışmaların Karşılaştırılması

Kanser araştırmalarında topolojik yöntemlerden yararlanan çalışmalar, kullandıkları matematiksel araçlar ve inceleme amaçları bakımından farklılık göstermektedir. Bazı çalışmalar tümör dokusunun üç boyutlu yapısına ve Euler karakteristiğine odaklanırken bazıları histolojik görüntülerdeki hücresel dağılımı kalıcı homoloji ve topolojik tanımlayıcılar aracılığıyla değerlendirmektedir.

Tablo 3- Kanser araştırmalarında topolojik yöntemleri kullanan çalışmaların karşılaştırılması

Araştırmacı	Yıl	Kullanılan yaklaşım	Çalışmanın odak noktası
Munn	2013	Euler karakteristiği	Tümör gelişimi ve doku topolojisi
Singh ve ark.	2014	Topolojik tanımlayıcılar, kalıcı homoloji	Meme kanseri histoloji görüntüleri
Qaiser ve ark.	2019	Kalıcı homoloji ve derin öğrenme özellikleri	Histoloji görüntülerinde tümör bölütleme
Loughrey ve ark.	2021	Topolojik veri analizi	Kanser araştırmalarında topolojik yöntemlerin olanakları
Majanga ve ark.	2025	Aktif konturlar, bağlı bileşen analizi ve diğer hesaplamalı yöntemler	Meme histolojisi görüntülerinde lezyon bölütleme

Tablo 3'teki çalışmaların karşılaştırılması, topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarında tek bir matematiksel yaklaşımla sınırlı olmadığını göstermektedir. Euler karakteristiği ve Betti sayıları gibi değişmezler doku organizasyonunun incelenmesinde kullanılırken kalıcı homoloji farklı ölçeklerde ortaya çıkan yapısal özellikleri değerlendirmektedir. Bağlı bileşen analizi ise hücre

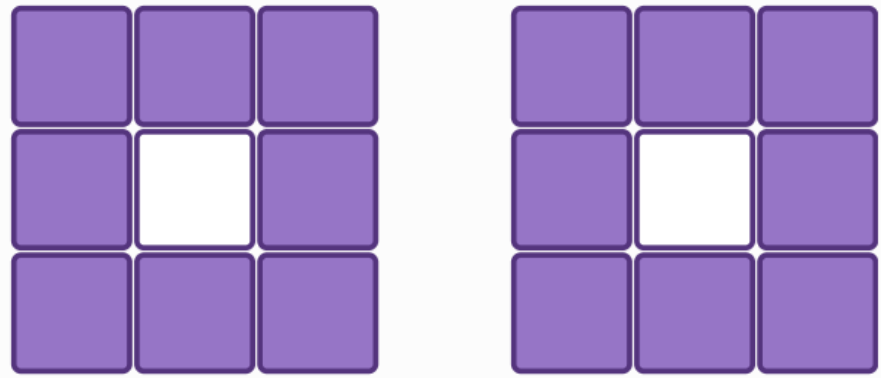
ve doku bölgelerinin bağlantı ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.
Literatürdeki bu farklı yaklaşımlar, topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarına yapısal ve matematiksel bir bakış açısı kazandırdığını göstermektedir.
Ancak kullanılan yöntemlerin amaçları ve matematiksel dayanakları birbirinden farklı olduğundan sonuçların aynı çerçevede değerlendirilmesi için boyut, temsil biçimi ve kullanılan topolojik değişmezlerin dikkate alınması gerekir.

4. MATEMATİKSEL DEĞERLENDİRME VE ÖRNEKLER

Kanser araştırmalarında kullanılan topolojik yöntemlerin matematiksel açıdan değerlendirilmesi, farklı topolojik değişmezlerin aynı yapı üzerindeki sonuçlarının birlikte incelenmesini gerektirir. Bağlı bileşen sayısı, Betti sayıları ve Euler karakteristiği, bir yapının farklı özelliklerini ortaya koyan ancak birbirini tamamlayan ölçütlerdir.
Bu bölümde, sonlu bir dijital yapının topolojik özellikleri matematiksel örnekler üzerinden değerlendirilmiştir. Örneklerde kullanılan yapılar, hücre topluluklarının mekânsal organizasyonunu temsil eden soyut matematiksel modellerdir.

4.1. Bağlı Bileşen ve Delik Sayısının Birlikte İncelenmesi

Bir dijital yapının topolojik özelliklerini değerlendirirken yalnızca bağlı bileşen sayısına veya yalnızca delik sayısına odaklanmak yeterli olmayabilir. Çünkü farklı yapılar aynı bileşen sayısına sahip olmasına rağmen farklı sayıda delik içerebilir. Bu nedenle iki ölçütün birlikte değerlendirilmesi, yapının topolojik organizasyonu hakkında daha kapsamlı bilgi sağlar.
Bu durumu incelemek amacıyla iki ayrı halkadan oluşan aşağıdaki dijital yapı ele alınsın. Her halka, ortasında bir boşluk bulunan ve birbirine kenarlarından bağlı sekiz birim kareden oluşmaktadır. İki halka arasında ise herhangi bir komşuluk ilişkisi bulunmamaktadır. Bu örnekte dijital yapı, her biri kapalı birim kare hücrelerden oluşan sonlu bir hücre kompleksi olarak ele alınmaktadır. Topolojik değişmezler, bu hücre kompleksinin birleşimi üzerinden hesaplanmaktadır.



Şekil 9- İki ayrı halkadan oluşan dijital yapının şematik gösterimi. Mor kareler yapının birim hücrelerini, beyaz bölgeler ise halkaların çevrelediği boşlukları göstermektedir.

Bu yapıda her halka kendi içerisinde 4-bağlıdır. Ancak halkalar arasında 4-komşuluk veya 8-komşuluk ilişkisi bulunmadığından yapı iki ayrı bağlı bileşenden oluşur. Dolayısıyla $\beta_0 = 2$ olur.
Her halkanın çevrelediği bir boşluk bulunduğu için toplam bağımsız delik sayısı ikidir: $\beta_1 = 2$. Buna göre iki boyutlu yapı için Euler-Poincaré bağıntısı kullanıldığında

$$\chi = \beta_0 - \beta_1$$
$$= 2 - 2$$

$= 0$

sonucu elde edilir.

Bu örnek, bağlı bileşen sayısının ve delik sayısının Euler karakteristiğine birlikte katkıda bulunduğunu göstermektedir. İki ayrı bileşenin bulunması Euler karakteristiğini artırırken, iki bağımsız deliğin bulunması bu değeri azaltmaktadır.

4.2. Euler Karakteristiğinin Hücre Sayıları Üzerinden Hesaplanması

Euler karakteristiği, topolojik değişmezler aracılığıyla hesaplanabildiği gibi sonlu hücre komplekslerinde köşe, kenar ve yüz sayıları kullanılarak da elde edilebilir. İki boyutlu bir hücre kompleksi için

$\chi = V - E + F$

bağıntısı geçerlidir.

Şekil 9'daki yapı, iki ayrı 3×3 kare hücre kompleksinden oluşmaktadır. Her bir halka için:

- Köşe sayısı: $V = 16$
- Kenar sayısı: $E = 24$
- Yüz sayısı: $F = 8$

olduğundan iki halkanın toplam değerleri $V = 32,\ E = 48,\ F = 16$ şeklindedir.

Bu değerler Euler karakteristiği bağıntısında yerine yazılırsa

$\chi = V - E + F$

$= 32 - 48 + 16$

$= 0$

elde edilir.

Böylece aynı yapının Euler karakteristiği iki farklı yolla hesaplanmış olur:

$\chi = V - E + F = \beta_0 - \beta_1 = 0$

Her iki hesaplama sonucunun aynı olması, örneğin hücre sayıları ile Betti sayıları arasındaki matematiksel tutarlılığı ortaya koymaktadır.

4.3. Topolojik Değişmezlerin Birlikte Değerlendirilmesi

Ele alınan örnekte bağlı bileşen sayısı, delik sayısı ve Euler karakteristiği birbirinden bağımsız ölçütler olarak değil, aynı yapının farklı özelliklerini açıklayan matematiksel değerler olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4- İki halkalı dijital yapının topolojik özellikleri

Topolojik özellik	Matematiksel değer
Bağlı bileşen sayısı (β_0)	2
Delik sayısı (β_1)	2
Köşe sayısı (V)	32
Kenar sayısı (E)	48
Yüz sayısı (F)	16
Euler karakteristiği (χ)	0

Tablodaki değerler birlikte incelendiğinde, yapının iki ayrı bağlı bileşenden oluştuğu ve her bileşenin bir delik içerdiği görülmektedir. Euler karakteristiğinin sıfır olması ise bu yapıdaki bileşen ve delik sayılarının birbirini dengelemesinden kaynaklanmaktadır.

Burada önemli bir matematiksel nokta bulunmaktadır: Euler karakteristiği tek başına bir

yapının bütün topolojik özelliklerini belirlemez. Örneğin bir yapı için $\chi = 0$ olması, mutlaka iki bileşen ve iki delik bulunduğu anlamına gelmez. Farklı Betti sayısı çiftleri de aynı Euler karakteristiğini verebilir. Bu nedenle Euler karakteristiğinin β_0 ve β_1 gibi diğer değişmezlerle birlikte incelenmesi gerekir.

Kanser araştırmaları açısından değerlendirildiğinde bu yaklaşım, hücre topluluklarının mekânsal organizasyonunu matematiksel olarak ifade etmek için kullanılabilir.

Bir doku modelindeki bileşenlerin ve boşlukların sayısal olarak belirlenmesi, farklı yapısal örüntülerin karşılaştırılmasına olanak sağlayabilir. Ancak bu matematiksel değerler tek başına biyolojik veya klinik bir sonuç ortaya koymaz; kullanılan doku temsili ve araştırmanın amacı çerçevesinde yorumlanmalıdır.

4.4. Matematiksel Değerlendirme

Bu bölümde ele alınan örnek, dijital topolojide kullanılan temel değişmezlerin birbirleriyle olan ilişkisini göstermektedir. Bağlı bileşen sayısı, bir yapının kaç ayrı parçadan oluştuğunu; Betti sayıları, bağımsız döngü ve boşlukların sayısını; Euler karakteristiği ise bu özelliklerin cebirsel toplamını ifade etmektedir.

Topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarında kullanılabilmesi için öncelikle incelenen biyolojik yapının uygun bir matematiksel temsilinin oluşturulması gerekir. Bu temsilin iki veya üç boyutlu olması, seçilen komşuluk ilişkisi ve hücrelerin nasıl modellendiği elde edilen sonuçları doğrudan etkileyebilir. Dolayısıyla matematiksel ölçütlerin doğru yorumlanabilmesi için kullanılan yapının özelliklerinin açıkça belirtilmesi önemlidir.

Sonuç olarak bağlı bileşenler, Betti sayıları ve Euler karakteristiği, biyolojik dokuların mekânsal organizasyonunu farklı yönlerden incelemeye imkân veren tamamlayıcı matematiksel araçlardır. Bu araçların birlikte kullanılması, topolojik yapıların yalnızca geometrik görünüşleri üzerinden değil, bağlantı ve boşluk ilişkileri üzerinden de değerlendirilmesini sağlar.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kanser araştırmalarında kullanılan topolojik yöntemler matematiksel açıdan incelenmiş; dijital topoloji, bağlı bileşenler, Betti sayıları, Euler karakteristiği ve kalıcı homoloji kavramlarının biyolojik dokuların yapısal özelliklerinin değerlendirilmesindeki yeri ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, topolojik yaklaşımların hücrelerin mekânsal dağılımını, doku içerisindeki bağlantı ilişkilerini ve yapısal boşlukları değerlendirmede farklı matematiksel olanaklar sunduğunu göstermektedir.

Literatür incelemesi sonucunda, topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarında farklı amaçlarla kullanıldığı görülmüştür. Munn (2013), üç boyutlu tümör gelişim modelinde Euler karakteristiğinden yararlanarak doku topolojisindeki değişimleri incelemiştir. Singh ve arkadaşları (2014), histoloji görüntülerindeki hücresel dağılımları topolojik tanımlayıcılar ve kalıcı homoloji aracılığıyla değerlendirmiştir.

Qaiser ve arkadaşları (2019), kalıcı homoloji özelliklerini derin öğrenme yöntemleriyle birleştirerek tümör bölütleme üzerine çalışmıştır. Loughrey ve arkadaşları (2021) ise topolojik veri analizinin kanser araştırmalarındaki kullanım alanlarını kapsamlı biçimde ele almıştır. Bu çalışmalar, topolojik yöntemlerin hem matematiksel modelleme hem de görüntü temelli araştırmalar içerisinde farklı biçimlerde değerlendirilebildiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada ele alınan matematiksel kavramlar birlikte değerlendirildiğinde, bağlı bileşen sayısının bir yapının bağlantı düzenini, Betti sayılarının bağımsız döngü ve boşluklarını, Euler karakteristiğinin ise bu özellikler arasındaki cebirsel ilişkiyi ifade ettiği görülmektedir. Özellikle Euler karakteristiğinin tek başına bütün topolojik bilgiyi temsil etmemesi, farklı

değişmezlerin birlikte kullanılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır.
Kalıcı homoloji ise topolojik özelliklerin farklı ölçeklerde nasıl ortaya çıktığını ve değiştiğini incelemesi bakımından diğer yöntemleri tamamlamaktadır. Bununla birlikte dijital topoloji ile kalıcı homolojinin matematiksel yaklaşımları birbirinden farklıdır. Dijital topoloji ayrık yapılardaki komşuluk ve bağlılık ilişkilerine odaklanırken kalıcı homoloji, bir filtrasyon boyunca topolojik özelliklerin devamlılığını değerlendirir.
Elde edilen bulgular, topolojik yöntemlerin kanser araştırmalarında doku organizasyonunun matematiksel olarak incelenmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte sonuçların güvenilir biçimde yorumlanabilmesi; kullanılan matematiksel modelin boyutuna, komşuluk ilişkilerine, hücre veya doku temsiline ve seçilen topolojik değişmezlere bağlıdır. Aynı Euler karakteristiğine sahip farklı yapıların bulunabilmesi de tek bir ölçütün bütün yapısal özellikleri açıklamakta yeterli olmadığını göstermektedir.
Sonuç olarak topolojik yöntemler, kanser araştırmalarında biyolojik dokuların bağlantı, bileşen, döngü ve boşluk özelliklerini matematiksel bir çerçevede değerlendirmeye imkân veren araçlardır. Dijital topoloji ve diğer topolojik yaklaşımların birlikte ele alınması, doku yapılarının farklı matematiksel yönlerden incelenmesine katkı sunmaktadır. Bu nedenle topolojik değişmezlerin tanımlanması, aralarındaki ilişkilerin matematiksel olarak açıklanması ve uygun modeller üzerinde değerlendirilmesi, kanser araştırmalarının matematiksel temelleri açısından önem taşımaktadır.

6. KAYNAKÇA

Edelsbrunner, H., & Harer, J. (2010). Computational topology: An introduction. American Mathematical Society.
Ghrist, R. (2008). Barcodes: The persistent topology of data. Bulletin of the American Mathematical Society, 45(1), 61–75. https://doi.org/10.1090/S0273-0979-07-01191-3
Kong, T. Y., & Rosenfeld, A. (1989). Digital topology: Introduction and survey. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 48(3), 357–393. https://doi.org/10.1016/0734-189X(89)90147-3
Loughrey, C. F., Fitzpatrick, P., Orr, N., & Jurek-Loughrey, A. (2021). The topology of data: Opportunities for cancer research. Bioinformatics, 37(19), 3091–3098. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btab553
Majanga, V., Mnkandla, E., Wang, Z., & Moulla, D. K. (2025). Active contours connected component analysis segmentation method of cancerous lesions in unsupervised breast histology images. Bioengineering, 12(6), 642. https://doi.org/10.3390/bioengineering12060642
Munkres, J. R. (2000). Topology (2nd ed.). Prentice Hall.
Munn, L. L. (2013). Dynamics of tissue topology during cancer invasion and metastasis. Physical Biology, 10(6), 065003. https://doi.org/10.1088/1478-3975/10/6/065003
Qaiser, T., Tsang, Y.-W., Taniyama, D., Sakamoto, N., Nakane, K., Epstein, D., & Rajpoot, N. (2019). Fast and accurate tumor segmentation of histology images using persistent homology and deep convolutional features. Medical Image Analysis, 55, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.media.2019.03.014
Singh, N., Couture, H. D., Marron, J. S., Perou, C. M., & Niethammer, M. (2014). Topological descriptors of histology images. In G. Wu, D. Zhang, & L. Zhou (Eds.), Machine learning in medical imaging (pp. 231–239). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10581-9_29

ÇÖREKOTU YAĞININ ÖZELLİKLERİ VE YAŞ MEYVE-SEBZELERİN HASAT SONRASI MUHAFAZASINDA KULLANIM OLANAKLARI

Kubra YAŞAR ELÇİ
Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Bahçe Bitkileri Yet. ve Islahı ABD, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-5311-9553
Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM
Kocaeli Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0003-2976-7320
Prof. Dr. Rezzan KASIM
Kocaeli Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-2279-4767

ÖZET

Yaş meyve ve sebzeler, yüksek su içerikleri ve hasat sonrasında devam eden metabolik faaliyetleri nedeniyle mikrobiyal bozulmaya ve kalite kayıplarına duyarlı ürünlerdir. Hasat sonrası kayıpların azaltılması ve ürünlerin depolama süresince kalite özelliklerinin korunması amacıyla doğal kaynaklı antimikrobiyal bileşiklerin kullanımına yönelik araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, *Nigella sativa* L. (çörekotu) tohumlarından elde edilen yağlar, içerdikleri biyoaktif bileşikler ve özellikle antimikrobiyal potansiyelleri nedeniyle alternatif muhafaza uygulamalarında değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, çörekotunun genel özellikleri ve ekonomik önemi, sabit ve uçucu yağlarının kimyasal bileşimi, antibakteriyel ve antifungal özellikleri ile yaş meyve ve sebzelerin hasat sonrası muhafazasında kullanım olanakları literatür temelinde ele alınmıştır. Çörekotu uçucu yağında bulunan timokinon, p-simen, karvakrol ve timol gibi bileşiklerin biyolojik aktiviteyle ilişkili olduğu; farklı araştırmalarda çörekotu yağının çeşitli bakteri ve bazı fungal etmenlerin gelişimini sınırlandırabildiği bildirilmiştir. Ayrıca, çörekotu yağının yenilebilir kaplamalara ve aktif ambalaj sistemlerine entegre edilmesi, mikrobiyal bozulmanın azaltılması ve depolama kalitesinin korunması açısından potansiyel bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yağın kimyasal bileşimi ve etkinliği; ekstraksiyon yöntemi, uygulama konsantrasyonu, hedef mikroorganizma ve ürün özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Uçucu yağların aroma ve tat üzerindeki olası etkileri de uygulama dozunun belirlenmesinde dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, çörekotu yağı yaş meyve ve sebzelerin hasat sonrası muhafazasında araştırılmaya değer doğal bir kaynak olmakla birlikte, ticari kullanıma yönelik değerlendirmeler için laboratuvar bulgularının gerçek ürün koşullarında doğrulanması ve mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyusal kalite özelliklerinin birlikte incelenmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: *Nigella sativa* L., çörekotu yağı, antimikrobiyal aktivite, antifungal etki, hasat sonrası muhafaza, yenilebilir kaplama.

PROPERTIES OF BLACK CUMIN SEED OIL AND ITS POSSIBILITIES IN POST-HARVEST PRESERVATION OF FRESH FRUITS AND VEGETABLES

ABSTRACT

Fresh fruits and vegetables are susceptible to microbial spoilage and quality deterioration due to their high water content and continued metabolic activity after harvest. Research on natural antimicrobial compounds has gained increasing importance as a potential approach to reducing postharvest losses and maintaining product quality during storage. In this context, oils obtained from *Nigella sativa* L. (black cumin) seeds have attracted attention as potential alternatives for postharvest preservation because of their bioactive constituents and antimicrobial properties. This study reviews the general characteristics and economic importance of black cumin, the chemical composition of its fixed and essential oils, their antibacterial and antifungal properties, and their potential applications in the postharvest preservation of fresh fruits and vegetables. Compounds found in black cumin essential oil, including thymoquinone, p-cymene, carvacrol, and thymol, have been associated with biological activity. Previous studies have reported that black cumin oil can inhibit the growth of various bacterial species and certain fungal pathogens. Furthermore, incorporating black cumin oil into edible coatings and active packaging systems may offer a promising approach to limiting microbial spoilage and maintaining storage quality. However, the chemical composition and antimicrobial effectiveness of the oil may vary depending on the extraction method, application concentration, target microorganism, and characteristics of the food product. Potential effects of essential oils on aroma and taste should also be considered when determining appropriate application concentrations. In conclusion, black cumin oil represents a promising natural resource for further investigation in the postharvest preservation of fresh fruits and vegetables. Nevertheless, its practical and commercial applications require validation under actual storage conditions, together with comprehensive assessments of microbiological, physicochemical, and sensory quality attributes.

Keywords: *Nigella sativa* L., black cumin oil, antimicrobial activity, antifungal activity, postharvest preservation, edible coating

1. GİRİŞ

Yaş meyve ve sebzeler, yüksek su içerikleri ve hasat sonrasında devam eden fizyolojik faaliyetleri nedeniyle mikrobiyal bozulmaya duyarlı ürünlerdir. Hasat, taşıma, paketleme ve depolama sırasında oluşan mekanik yaralanmalar ile uygun olmayan sıcaklık ve nem koşulları, bozulma etmeni mikroorganizmaların gelişimini kolaylaştırabilir. *Penicillium*, *Botrytis*, *Alternaria* ve *Rhizopus* cinslerine ait fungal etmenler, farklı ürünlerde çürüklük oluşumuna, kalite kayıplarına ve pazarlanabilirlik süresinin kısalmasına neden olabilmektedir (Singh vd., 2014; Alegbeleye vd., 2022).

Sentetik antimikrobiyal maddelerin kullanımını azaltmaya yönelik arayışlar, bitkisel kaynaklı biyoaktif bileşiklerin gıda muhafazasında değerlendirilmesine ilgiyi artırmıştır. Bitkisel yağlar ve uçucu yağlar bazı bakteri ve küflerin gelişimini sınırlandırabilse de etkinlik; kimyasal bileşime, uygulama konsantrasyonuna, hedef mikroorganizmaya ve gıda içeriğine bağlıdır (Hyldgaard vd., 2012; Mossa vd., 2021). Bu bağlamda çörekotu (*Nigella sativa* L.) yağı, antimikrobiyal ve antioksidan potansiyeli nedeniyle hasat sonrası muhafaza araştırmalarında ele alınan doğal kaynaklardan biridir (Hassanien vd., 2015; Hossain vd., 2021).

2. ÇÖREKOTUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ VE EKONOMİK ÖNEMİ

Çörekotu (*Nigella sativa* L.), Ranunculaceae familyasına ait, tek yıllık, otsu ve aromatik bir bitkidir. Güneybatı Asya ve Doğu Akdeniz orijinli bir bitki olan çörekotu, günümüzde Orta Doğu, Kuzey Afrika, Asya ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerinde yetiştirilmektedir. Siyah renkli tohumları geleneksel olarak baharat ve gıda maddesi olarak kullanılmasının yanı sıra, biyoaktif bileşikleri nedeniyle fonksiyonel gıda, kozmetik ve farmasötik alanlarda da ilgi görmektedir (D'Antuono vd., 2002; Tavakkoli vd., 2017; Hannan vd., 2021).

Tohumlar sabit yağın yanı sıra uçucu yağ, protein, karbonhidrat, lif, alkaloit, saponin ve çeşitli fenolik bileşikler içerebilir. Literatürde sabit yağ oranının yaklaşık %22–38, uçucu yağ oranının ise çoğunlukla %0,4–2,5 aralığında değişebildiği bildirilmektedir. Bu oranlar genotip, yetiştirme koşulları, hasat ve kurutma zamanı ile ekstraksiyon yönteminden etkilenebilir (Gholamnezhad vd., 2016; Tavakkoli vd., 2017; Salehi vd., 2021).

Çörekotunun ekonomik değeri, tohumların doğrudan tüketilebilmesi ve presleme ya da ekstraksiyon yoluyla farklı yağ fraksiyonlarının elde edilebilmesinden kaynaklanır. Bu çok yönlü kullanım, bitkinin gıda, baharat, fonksiyonel ürün, kozmetik ve doğal ürün sektörlerinde değerlendirilmesine olanak sağlar (Ahmad vd., 2021; Alu'datt vd., 2024).

3. KİMYASAL BİLEŞİM: SABİT YAĞ VE UÇUCU YAĞ AYRIMI

Çörekotu yağını değerlendirirken sabit yağ ile uçucu yağı birbirinden ayırmak önemlidir. Sabit yağ esas olarak yağ asitleri ve bunların gliseritlerinden oluşur; linoleik ve oleik asitler başlıca bileşenler arasında yer alırken linolenik, palmitoleik ve palmitik asitler de bildirilmektedir. Tohumlarda β-sitosterol, kampesterol ve stigmasterol gibi steroller de bulunabilir (Nickavar vd., 2003; Aydin ve Kart, 2021).

Uçucu yağın bileşiminde p-simen, α-tujen, karvakrol, timokinon, timol, α-pinen, β-pinen ve 4-terpineol gibi bileşikler rapor edilmiştir (Tablo 1). Timokinon, çörekotu uçucu yağının biyolojik özellikleri bakımından en çok araştırılan bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte bileşiklerin türü ve oranı, bitkisel materyale ve ekstraksiyon yöntemine göre değişebildiğinden farklı çalışmalardaki bileşim değerleri doğrudan eşdeğer kabul edilmemelidir (Burits ve Bucar, 2000; Kokoska vd., 2008; Mukhtar vd., 2021; Fattah vd., 2023).

Tablo 1. *Nigella sativa* tohumlarından elde edilen uçucu yağın GC-FID ile belirlenen kimyasal bileşimi (Ciesielska-Figlon vd., 2022).

Uçucu Yağ Bileşeni	İçerik (%)
p-simen (p-cymene)	49,27
α-tujen (α-thujene)	14,38
trans-4-metoksi-tujane (trans-4-methoxy-thujane)	5,83
longifolen (longifolene)	3,69
γ-terpinen (γ-terpinene)	3,36
α-pinen (α-pinene)	3,09
β-pinen (β-pinene)	2,85
β-fellandren/sabinen (β-phellandrene/sabinene)	2,43
d-limonen (d-limonene)	2,42
timokinon (thymoquinone)	2,26
karvakrol (carvacrol)	1,57

Uçucu Yağ Bileşeni	İçerik (%)
β-siklositral (β-cyclocitral)	1,24
Toplam	**92,39**

4. ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİKLERİ

4.1. Bakteriyel gelişim üzerine etkileri

Arici vd. (2005), Türkiye'de üretilen beş farklı çörekotu yağını %0,5, %1 ve %2 konsantrasyonlarında, patojen, bozulma etmeni ve laktik asit bakterilerinden oluşan 24 bakteriye karşı agar difüzyon yöntemiyle incelemiştir. Araştırmacılar, incelenen yağların test bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite gösterdiğini ve genel olarak %2 konsantrasyonun daha etkili olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, bakterilerin duyarlılıkları farklılık göstermiş; laktik asit bakterileri bazı diğer bakteri gruplarına kıyasla daha dirençli bulunmuştur.

Bu bulgular, çörekotu yağının bazı bakterilerin gelişimini sınırlandırma potansiyelini desteklemektedir. Ancak agar difüzyon testlerinde belirlenen inhibisyon zonları, yağın doğrudan meyve ve sebzelerde aynı etkiyi göstereceğini tek başına kanıtlamaz. Gıda matriksi, pH, sıcaklık ve başlangıç mikroorganizma yoğunluğu sonuçları değiştirebilir (Hyldgaard vd., 2012).

4.2. Fungal gelişim ve hasat sonrası çürüklükler

Hasat sonrası fungal gelişim, meyve ve sebzelerde kalite kaybının ve pazarlanabilirlik süresinin kısalmasının önemli nedenlerindendir. *Penicillium* türleri çeşitli meyvelerde çürüklüklere neden olabilirken *Botrytis cinerea*, çilek ve üzüm gibi hassas ürünlerde önem taşır. Hassanien vd. (2015), çörekotu uçucu yağının bazı bakterilere ve fungal türlere karşı biyolojik aktivitesine ilişkin bulguları derlemiş; *Penicillium citrinum* da bu kapsamda ele alınmıştır. Bununla birlikte, etkinliğin tüm türlerde aynı olacağı varsayılmamalıdır.

Çörekotu yağının antifungal etkinliği laboratuvar koşullarında koloni çapı, misel gelişim hızı, spor çimlenmesi ve misel gelişiminin inhibisyon yüzdesi gibi ölçütlerle değerlendirilebilir. Doz ve zamanın etkisini karşılaştırmak için günlük gelişim eğrileri ve uygun istatistiksel analizler kullanılabilir. Bununla birlikte, *in vitro* koşullarda fungal gelişimin baskılanması ile canlı meyve veya sebzede hastalığın önlenmesi aynı sonucu ifade etmez; laboratuvar bulgularının ürün üzerinde yürütülen depolama denemeleriyle doğrulanması gerekir.

5. HASAT SONRASI MUHAFAZADA KULLANIM OLANAKLARI

5.1. Yenilebilir kaplama ve aktif ambalaj sistemleri

Bitkisel yağlar, yenilebilir kaplamalara veya aktif ambalaj sistemlerine dâhil edilerek antimikrobiyal bileşenlerin ürün yüzeyine ya da ambalaj ortamına taşınmasında kullanılabilir. Ancak uçucu yağların hidrofobik yapısı, gıda bileşenleriyle etkileşimi ve belirgin aromaları, uygulama etkinliğini ve tüketici kabulünü sınırlayabilir (Hyldgaard vd., 2012). Çörekotu yağı içeren formülasyonlarda yağın türü (sabit veya uçucu), homojen dağılımı, emülsiyon kararlılığı, uygulama dozu ve ürün yüzeyindeki davranışı dikkate alınmalıdır.

5.2. Su kaybı, solunum ve kalite özellikleri

Hasat sonrasında meyve ve sebzeler terleme ve solunum gibi süreçler nedeniyle su ve kütle kaybedebilir. Yüzeyde bariyer oluşturan kaplamalar su buharı alışverişini ve gaz değişimini etkileyerek ağırlık kaybı ve olgunlaşma süreçleri üzerinde rol oynayabilir; ancak bu etkinin büyüklüğü ürünün yapısına, kaplamanın bileşimine ve depolama koşullarına bağlıdır. Bu nedenle çörekotu yağının her ürün için ağırlık kaybını veya solunumu belirli bir düzeyde

azaltacağı genellenmemelidir.
Kasım ve Kasım (2021), tere yaprağına 11,4 ppm, 22,7 ppm ve 45,5 ppm çörekotu yağı buharı uygulamasının hasat sonrası kalite üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, çörek otu yağı buharı uygulamasının bahçe teresi yapraklarının yeşil rengini koruduğunu ve klorofil içeriğini artırdığını göstermiştir. Bu sonuçlara göre, 22,7 ppm ve 45,5 ppm konsantrasyonlarının 11,4 ppm dozundan daha etkili olduğu da tespit edilmiştir.
Kahramanoğlu (2018), modifiye atmosfer ambalajında depolanan "Wonderful" narında çörekotu yağı uygulamalarını hasat sonrası kalite bakımından incelemiştir. Sridevi ve Bhaskar (2018) ise nar arillerinde çörekotu yağı ve nişasta uygulamalarının fizyolojik, biyokimyasal ve kalite özellikleriyle ilişkisini araştırmıştır. Shanta vd. (2023), taro kormu müsilajı ve çörekotu yağı içeren yenilebilir kaplamaları taze guavanın raf ömrü ve kalitesi açısından değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, farklı ürünlerde kaplama uygulamalarının araştırıldığını göstermektedir; sonuçlar uygulama formülasyonu ve depolama koşulları bağlamında yorumlanmalıdır.
Uygulama başarısı yalnızca mikrobiyolojik ölçümlerle değerlendirilmemelidir. Ağırlık kaybı, meyve eti sertliği, renk, suda çözünür kuru madde, titre edilebilir asitlik ve duyusal kalite gibi ölçümlerin birlikte yapılması, antimikrobiyal etki ile ürün kalitesi arasındaki ilişkinin ortaya konmasına yardımcı olur. Etkili olabilecek konsantrasyonların istenmeyen tat veya aroma değişikliklerine yol açma olasılığı da değerlendirilmelidir.

6. SONUÇ VE ARAŞTIRMA GEREKSİNİMLERİ

Literatür, çörekotu yağının bazı bakterilere ve bazı fungal etmenlere karşı antimikrobiyal potansiyel taşıdığını göstermektedir (Arici vd., 2005; Hassanien vd., 2015). Bununla birlikte etkinlik; sabit yağ veya uçucu yağ kullanılmasına, kimyasal bileşime, konsantrasyona, hedef mikroorganizmaya ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle çörekotu yağı, yaş meyve ve sebzelerde hasat sonrası mikrobiyal bozulmayı sınırlandırmak amacıyla araştırılabilecek doğal bir kaynak olarak değerlendirilebilir; ancak ticari kullanıma yönelik sonuçlara ulaşmak için gerçek ürünlerde kontrollü depolama denemeleri, mikrobiyolojik analizler, kalite ölçümleri ve duyusal değerlendirmeler gereklidir.

KAYNAKLAR

Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Ashraf, S. A., Saad, H. H., Wahab, S., Khan, M. I., ... & Athar, M. T. (2021). An updated knowledge of Black seed (Nigella sativa Linn.): Review of phytochemical constituents and pharmacological properties. Journal of herbal medicine, 25, 100404.
Alegbeleye, O., O.A. Odeyemi, M. Strateva, and D. Stratev. 2022. Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. Appl. Food Res. 2(1):100122. doi: 10.1016/j.afres.2022. 100122 .Alu'datt, M. H., Rababah, T., Al-u'datt, D. A. G., Gammoh, S., Alkandari, S., Allafi, A., ... & Al-Rashdan, H. K. (2024). Designing novel industrial and functional foods using the bioactive compounds from Nigella sativa L.(black cumin): Biochemical and biological prospects toward health implications. Journal of Food Science, 89(4), 1865-1893.
Arici, M., Sagdic, O., & Gecgel, U. (2005). Antibacterial effect of Turkish black cumin (Nigella sativa L.) oils. *Grasas y Aceites*, *56*(4), 259-262.
Aydin, E., & Kart, A. (2021). Health promoting activities of Nigella sativa seeds. Black Cumin (Nigella sativa) Seeds: Chemistry, Technology, Functionality, and Applications, 153-177.
Burits, M., & Bucar, F. (2000). Antioxidant activity of Nigella sativa essential oil. Phytotherapy research, 14(5), 323-328.
Ciesielska-Figlon, K., Daca, A., Kokotkiewicz, A., Łuczkiewicz, M., Zabiegała, B., Witkowski, J. M., & Lisowska, K. A. (2022). The influence of Nigella sativa essential oil on proliferation, activation, and

apoptosis of human T lymphocytes in vitro. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *153*, 113349.
D'Antuono, L. F., Moretti, A., & Lovato, A. F. (2002). Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of Nigella sativa L. and Nigella damascena L. Industrial crops and products, 15(1), 59-69.
Fattah, I. M. R., Ashrafur, R. S., & Ahmed, A. (2023). Black cumin (Nigella sativa L.) essential oil and aroma quality. In Biochemistry, Nutrition, and Therapeutics of Black Cumin Seed (pp. 71-87). Academic Press.
Gholamnezhad, Z., Havakhah, S., & Boskabady, M. H. (2016). Preclinical and clinical effects of Nigella sativa and its constituent, thymoquinone: A review. Journal of ethnopharmacology, 190, 372-386.
Hannan, M. A., Rahman, M. A., Sohag, A. A. M., Uddin, M. J., Dash, R., Sikder, M. H., ... & Kim, B. (2021). Black cumin (Nigella sativa L.): A comprehensive review on phytochemistry, health benefits, molecular pharmacology, and safety. Nutrients, 13(6), 1784.
Hassanien, M. F., Assiri, A. M., Alzohairy, A. M., & Oraby, H. F. (2015). Health-promoting value and food applications of black cumin essential oil: an overview. *Journal of food science and technology*, *52*(10), 6136-6142.
Hossain, M. S., Sharfaraz, A., Dutta, A., Ahsan, A., Masud, M. A., Ahmed, I. A., ... & Ming, L. C. (2021). A review of ethnobotany, phytochemistry, antimicrobial pharmacology and toxicology of Nigella sativa L. Biomedicine & Pharmacotherapy, 143, 112182.
Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*, *3*, 12.
Kahramanoğlu, İ. (2018). Black seed oil applications for the preservation of postharvest quality of 'wonderful'pomegranate under modified atmosphere packaging. Journal of Agricultural Science, 10(9), 87-94.
Kasım, R., & Kasım, M. U. (2021). Black cumin essential oil vapor delays postharvest chlorophyll loss in garden cress (Lepidium sativum L.). Journal of Agricultural Sciences–Sri Lanka, 16(2).
Kokoska, L., Havlik, J., Valterova, I., Sovova, H., Sajfrtova, M., & Jankovska, I. (2008). Comparison of chemical composition and antibacterial activity of Nigella sativa seed essential oils obtained by different extraction methods. Journal of food protection, 71(12), 2475-2480.
Mossa, A. T. H., Mohafrash, S. M., Ziedan, E. S. H., Abdelsalam, I. S., & Sahab, A. F. (2021). Development of eco-friendly nanoemulsions of some natural oils and evaluating of its efficiency against postharvest fruit rot fungi of cucumber. Industrial Crops and Products, 159, 113049.
Mukhtar, H., Mumtaz, M. W., Tauqeer, T., & Raza, S. A. (2021). Composition of Nigella sativa seeds. In Black cumin (Nigella sativa) seeds: chemistry, technology, functionality, and applications (pp. 45-57). Cham: Springer International Publishing.
Nickavar, B., Mojab, F., Javidnia, K., & Amoli, M. A. R. (2003). Chemical composition of the fixed and volatile oils of Nigella sativa L. from Iran. Zeitschrift für Naturforschung C, 58(9-10), 629-631.
Salehi, B., Quispe, C., Imran, M., Ul-Haq, I., Živković, J., Abu-Reidah, I. M., ... & Sharifi-Rad, J. (2021). Nigella plants–Traditional uses, bioactive phytoconstituents, preclinical and clinical studies. Frontiers in pharmacology, 12, 625386.
Shanta, S. S., Ahmed, T., Jubayer, M. F., Sharma, M., Sridhar, K., Hoque, M. M., ... & Inbaraj, B. S. (2023). Effect of Taro corm mucilage and black seed oil as edible coatings on the shelf-life and quality of fresh guava. Agronomy, 13(2), 538.
Singh, V., Hedayetullah, M., Zaman, P., & Meher, J. (2014). Postharvest technology of fruits and vegetables: An overview. Journal of Postharvest Technology, 2(2), 124-135..
Sridevi, P. and Bhaskar, V.V., (2018). Influence of postharvest application of Nigella sativa oil and starch on the physiological, biochemical and quality parameters of pomegranate arils cv. 'BHAGWA'. International Journal of Agricultural Sciences, 14(1): 247-253.
Tavakkoli, A., Ahmadi, A., Razavi, B. M., & Hosseinzadeh, H. (2017). Black seed (Nigella sativa) and its constituent thymoquinone as an antidote or a protective agent against natural or chemical toxicities. Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR, 16(Suppl), 2.

KESME ÇİÇEKLERDE VAZO ÖMRÜNÜN UZATILMASINDA GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİ: ETKİ MEKANİZMALARI VE UYGULAMA POTANSİYELİ

Zir.Müh. Saide GÜLER
Kocaeli University, Department of Horticulture, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 41100, Umuttepe, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0004-7973-5938
Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0003-2976-7320
Prof. Dr. Rezzan KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-2279-4767

ÖZET
Kesme çiçeklerde hasat sonrası yaşlanma, su alımının azalması, mikrobiyal gelişme, etilen metabolizmasındaki değişimler ve oksidatif stres gibi birbirleriyle ilişkili fizyolojik ve biyokimyasal süreçler sonucunda meydana gelmektedir. Son yıllarda gümüş nanopartikülleri (AgNP), güçlü antimikrobiyal özellikleri ve yaşlanma süreçleri üzerindeki etkileri nedeniyle kesme çiçeklerin vazo ömrünü uzatmaya yönelik alternatif uygulamalar arasında öne çıkmaktadır. AgNP'lerin vazo çözeltisinde ve sapın kesim yüzeyinde mikrobiyal gelişimi baskılayarak ksilem tıkanmasını azalttığı, su alımını iyileştirdiği ve nispi taze ağırlığın korunmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra etilen biyosentezi ve sinyalizasyonuyla ilişkili süreçleri düzenleyerek petal yaşlanmasını geciktirebildiği, reaktif oksijen türlerinin birikimini sınırlandırarak antioksidan savunma sistemini ve membran bütünlüğünü olumlu yönde etkileyebildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, AgNP'lerin etkinliği çiçek türü ve çeşidine, uygulama konsantrasyonuna, süresine, yöntemine ve nanopartiküllerin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. AgNP'lerin sakkaroz ve farklı koruyucu bileşiklerle birlikte uygulanması bazı türlerde daha başarılı sonuçlar sağlarken, yüksek konsantrasyon uygulamaları vazo ömrü açısından her zaman olumlu sonuçlar vermemektedir. Ayrıca nanopartiküllerin olası fitotoksik etkileri, bitki dokularında gümüş birikimi ve kullanılmış vazo çözeltilerinin çevresel riskleri, uygulamaların sürdürülebilirliği açısından dikkate alınması gereken önemli konulardır. Sonuç olarak, AgNP'ler kesme çiçeklerin hasat sonrası kalitesinin korunmasında önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, ticari kullanımlarının yaygınlaştırılması için tür ve çeşide özgü optimum uygulama koşullarının belirlenmesi ve çevresel güvenliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Gümüş nanopartikülleri, kesme çiçekler, vazo ömrü, antimikrobiyal etki, oksidatif stres, hasat sonrası kalite

NANOPARTICLES FOR EXTENDING THE VASE LIFE CUT FLOWERS: MECHANISM OF ACTION AND APPLICATION POTENTIAL

ABSTRACT

Postharvest senescence in cut flowers results from interconnected physiological and biochemical processes, including reduced water uptake, microbial proliferation, changes in ethylene metabolism, and oxidative stress. In recent years, silver nanoparticles (AgNPs) have emerged as a promising alternative for extending the vase life of cut flowers due to their strong antimicrobial properties and their effects on senescence-related processes. AgNPs have been shown to suppress microbial growth in vase solutions and at cut stem ends, thereby reducing xylem blockage, improving water uptake, and helping maintain relative fresh weight. In addition, AgNPs can delay petal senescence by modulating processes associated with ethylene biosynthesis and signaling, while also limiting the accumulation of reactive oxygen species and contributing to the regulation of antioxidant defense systems and the maintenance of membrane integrity. However, the effectiveness of AgNPs varies depending on the flower species and cultivar, application concentration, duration and method, and the physicochemical properties of the nanoparticles. Although combining AgNPs with sucrose and other floral preservatives has produced more favorable results in some species, higher AgNP concentrations do not always lead to improved vase life. Furthermore, the potential phytotoxic effects of nanoparticles, silver accumulation in plant tissues, and environmental risks associated with used vase solutions are important considerations for the sustainability of these applications. Overall, AgNPs offer considerable potential for maintaining the postharvest quality of cut flowers. Nevertheless, their wider commercial adoption requires the identification of optimal application conditions for individual species and cultivars, along with a thorough assessment of their environmental safety..

Keywords: Silver nanoparticles, cut flowers, vase life, antimicrobial activity, oxidative stress, postharvest quality.

1. GİRİŞ

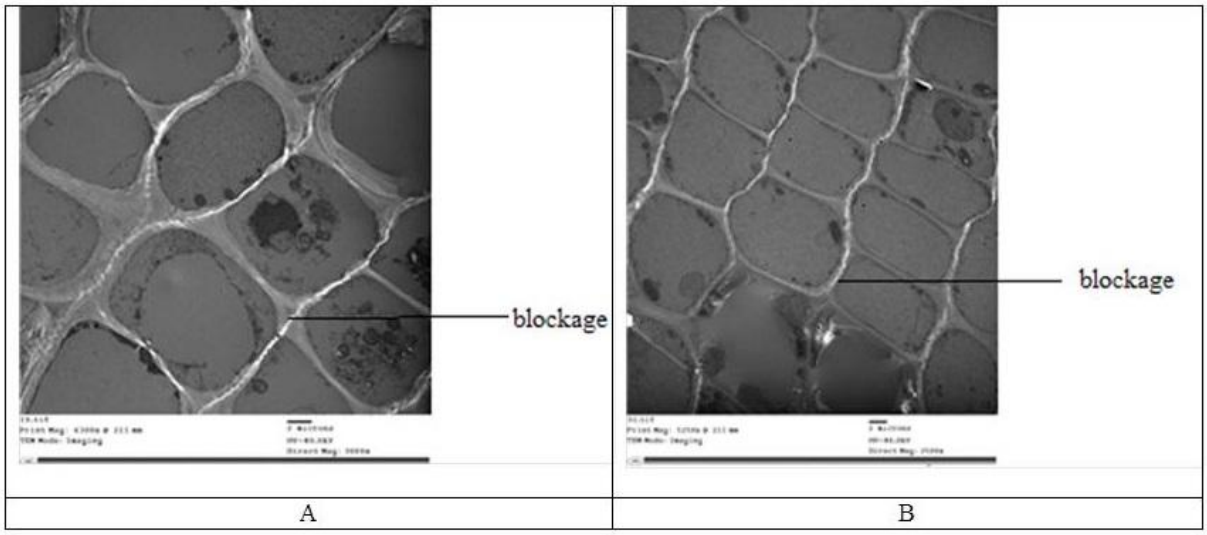
Kesme çiçeklerin vazo ömrü tüketici memnuniyetini ve tekrar satın alma tercihini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Çiçeklerin vazo ömrünü çiçeklerin vazo çözeltisinden su alımı, karbonhidratların azalması, etilen miktarı ve patojenler etkilemektedir. Çiçeklerin vazo ömrünün kısalmasına neden olan en önemli faktör su stresi olup, vazo çözeltisinde bakteriyel gelişim nedeniyle oluşan ksilem tıkanması, vasküler dokularda hava embolisi oluşumu ve ksillem damalarlarının lümeninde kimyasal bileşiklerin birikmesi sonucu bitki yeterli suyu alamamaktadır (Ha ve In, 2023). Dolayısıyla çiçekler hızlı bir şekilde yaşlanmaktadır. Kesme çiçeklerin vazo ömrünün uzatılması için uzun yıllardan gümüş içeren bileşiklerden faydalanılmakta olup en yaygın kullanılan bileşik gümüş tiyosülfat (STS)'dir. Ancak son yıllarda gümüşün ağır metal olması dolayısıyla çevre için risk oluşturması, gümüş kullanımına alternatif arayışlarına neden olmakla birlikte, hali hazırda gümüşün yerini alabilecek bir bileşik henüz bulunamamıştır. Bu nedenle de gümüşün daha az kullanımını sağlayan nano gümüş (NG) uygulamaları son yıllarda ön plana çıkmıştır. NG, hem etilen sentezini bloke ederken, hem de mikroorganizma gelişimini önlemekte böylece kesme çiçeklerin hasat sonrası ömrünü ve kalitesini iyileştirmektedir (Naing ve Kim, 2020). NS, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkiye sahip olduğu gösterilen gümüş bazlı bir madde olup, bakteri, virüs ve diğer ökaryotik mikroorganizmalara karşı anti mikrobiyal etkilidir (Wang vd. 2017, Liu vd., 2018). AgNP'lerin serbest bıraktığı Ag^+ iyonları bakteri hücrelerinin yüzey proteinlerindeki sülfhidril ve tiyol gruplarının hidrojen iyonlarını ile yer değiştirerek membran geçirgenliğini azaltmakta, solunum

zincir enzimlerini ve hücre bölünmesini önleyerek bakterileri yok etmektedir. Ek olarak Ag^+ bir ağır metal iyonu olarak da mikroorganizmalarda hücresel oksitatif strese yol açmaktadır (Khalandi vd., 2017). Böylece çiçeklerin vazo ömrü uzatılabilmektedir.

Nitekim, hasattan sonra petalleri ve yaprakları hızla solan ve dolayısıyla vazo ömrü oldukça kısa olan lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) kesme çiçeklerine 2,0 mg/L AgNP'nin tek başına uygulanması çiçeğin yaşlanmasını geciktirerek, vazo ömrünü korurken, bu bileşiğe %3 sakkaroz ilavesi vazo ömrünü önemli düzeyde uzatmıştır. Ek olarak çiçeklerin günlük açılma oranı, günlük çiçek kalitesi, vazo çözeltisi alımı ve nispi taze ağırlık üzerinde belirgin sinerjistik etkiler göstererek vazo ömrünü uzatmada etkili olmuştur (Liu vd., 2025). Benzer şekilde gerbera kesme çiçeklerinde 10 ppm AgNP uygulaması çiçeklerin kalitesini koruyarak vazo ömrünü uzatmıştır (Saikia vd., 2025). Nergis çiçeklerinde 30 ppm AgNP, vazo ömrünü (6,25 gün) kontrole göre (4,25 gün) 2 gün uzatmıştır (Şekerci vd., 2024). Yine şebboy (*Matthiola incana* L), kesme çiçeklerine 20 mg/L nano-gümüş uygulaması çiçek kalitesini ve vazo ömrünü olumlu yönde etkilemiştir. Ek olarak AgNP'ler SOD, POX ve CAT antioksidan enzim aktivitelerini azaltmıştır (Cerit ve Dalda Şekerci, 2025). Fırça aşamasında hasat edildikten sonra ^oC'de 6 saat ön soğutulman karanfil (*Dianthus caryophyllus* cv. Dover) kesme çiçeklerine 5 ve 10 ppm AgNP uygulamaları vazo ömrünü uzatmada etkili bulunmuştur. Uygulama çiçeklerin vazo ömrü, oransal taze ağırlık, vazo çözeltisi alımı, çiçek çapı, yaprak klorofil miktarı, toplam karbonhidrat ve toplam fenol miktarında artışlara yol açarken, bakteri sayısını azaltmış, bu açıdan en iyi sonuçlar 5 ppm AgNP + %5 Aloe vera jeli ve 5 ppm AgNPs +%7,5 Aloe vera içeren çözeltilerden elde edilmiştir (El-Attar ve Sakr, 2022). Bu çalışmada kesme çiçeklere uygulanan gümüş nanopartiküllerinin çiçeklerin su alımı, etilen-kaynaklı yaşlanması ve patojen gelişimine etkileri araştırılmıştır.

2. KSİLEM TIKANIKLIĞI

Kesme çiçeklerin vazo ömrü, çiçeklerin vazo çözeltisini çekme kapasitesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kesme çiçeklerin turgor halinin korunması ve tomurcuk şeklinde kesilen çiçeklerin vazoda kaldığı sürede açılması için su alımı oldukça kritik bir faktördür. Vazo çözeltisi içerisinde mikroorganizmaların çoğalması ile vazo çözeltisi pelteleşmekte veya ksilem iletim demetinde mikroorganizma kalıntılarının birikmesi sonucu tıkanmalar oluşmakta, dolayısıyla her iki durumda da çiçekler suyu alamamaktadır. Bu da çiçeklerin hızla yaşlanmasına yol açmaktadır. Bu durum nano-gümüş partikül uygulamaları ile önlenebilmektedir. Nitekim, karanfilde, AgNP'ler vazo çözeltisinde bakteri büyümesini önleyerek ksilem iletim demetinin tıkanmasını önlemekte (Şekil 1), böylece çiçeklerin morfofizyolojik ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek vazo ömrünü arttırmaktadır (El-Attar ve Sakr., 2022).



Şekil 1. 5 ppm AgNP + %5 Aloe vera jeli uygulanmış karanfil kesme çiçek sapının tabanındaki ksilem iletim demeti tıkanıklığının ultrastrüktürel tanımlaması (El Attar ve Sakr 2022).

Benzer şekilde kesme çiçek taşımacılığının simüle edildiği çalışmada, titreşim stresine maruz bırakılan karanfil kesme çiçekleri ardından nano gümüş (25 ve 50 µM) ve melatonin (100 ve 200 µM) içeren vazo çözeltilerinde tutulmuştur. Yapılan uygulamalar çiçeklerdeki titreşimin oluşturduğu olumsuz etkileri gidermiş, çiçeklerin su alımını arttırarak vazo ömrünü uzatmıştır (Şekil 2). Nano gümüş ve melatoninin optimum olarak belirlenen dozları (sırasıyla 25 ve 100 µM), katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerini arttırarak klorofil bozulmasını, elektrolit sızıntısını ve lipit peroksidasyonunun azaltmıştır (Safaei Far vd., 2024).

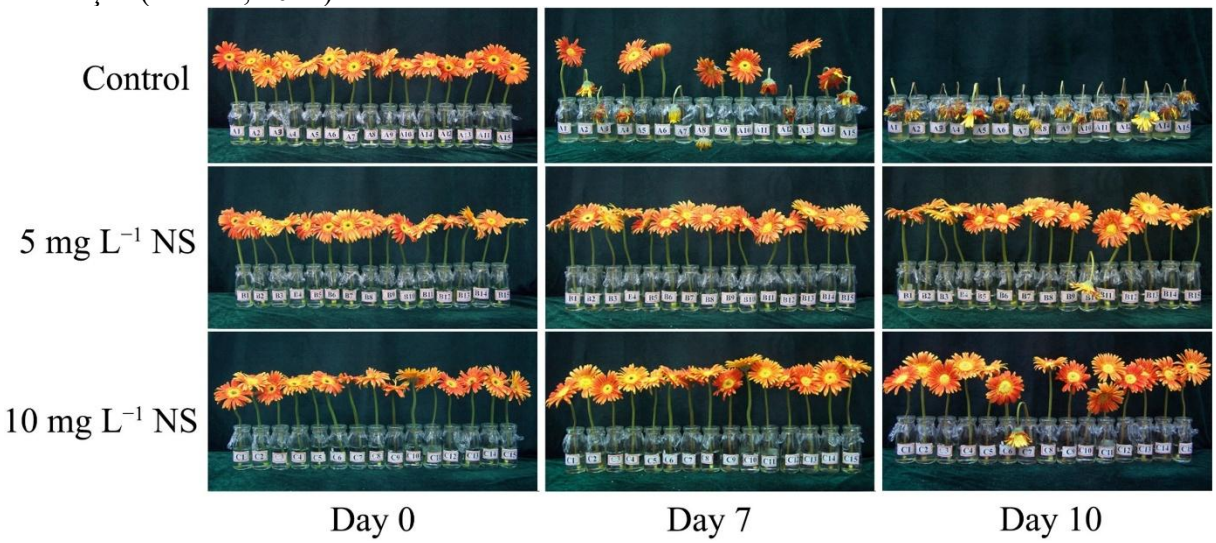


Şekil 2. nano-gümüş ve melatonin uygulanan 'White Liberty' kesme çiçeklerinin vazodaki 14. Günde görünümleri (Safaei Far vd., 2024).

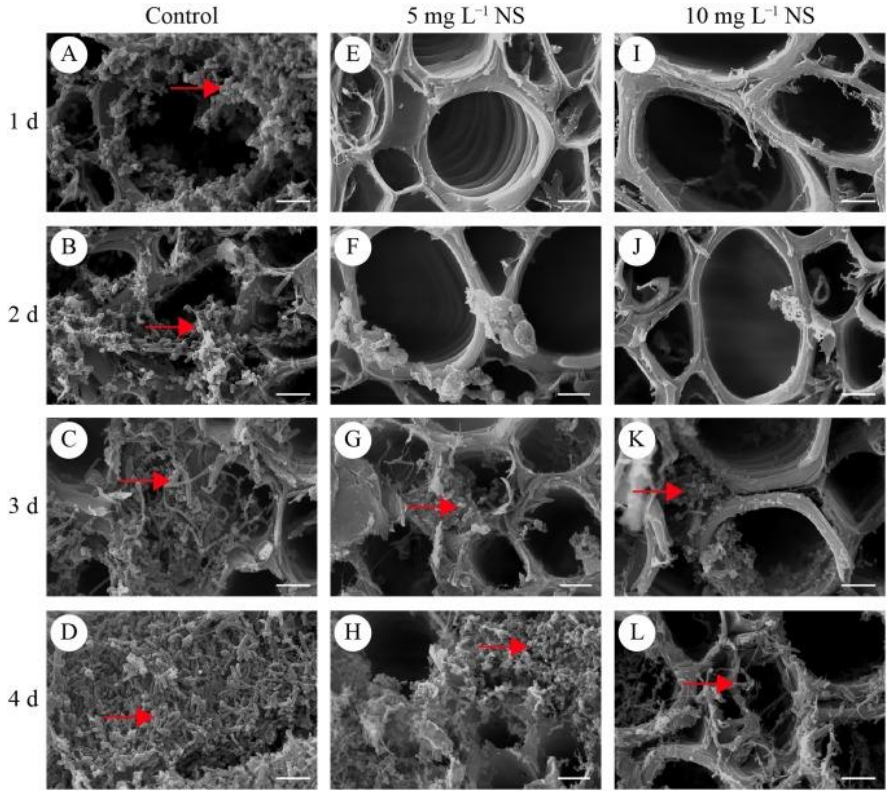
Kesme lisianthus çiçeklerinde de vazo çözeltisine 2,0 mg/L NS ve 2,0 mg/L NS + %3 sakkaroz kombinasyonunun ilavesi sapın kesim yüzeylerinde ve ksilem iletim demetlerinde bakteri hücreleri ve biyofilm oluşumunu etkili bir şekilde azaltmıştır. Buna karşılık kontrol bitkilerinde, deiyonize su veya %3 sakkaroz çözeltisindeki bitkilerde derin bir bakteri tabakası oluşarak, ksilem iletim demetleri büyük bir bakteri kütlesiyle tıkanmıştır (Liu vd., 2025).

Gerbera kesme çiçeklerinde vazo ömrü süresince sap bükülmesi çiçeklerin vazo ömrünü

kısaltan önemli bir sorundur. Sap bükülmesi gerbera çiçeklerinin kapitülüm büyüklüğünden kaynaklandığı gibi vazo çözeltisi içerisinde bakteri çoğalması nedeniyle ksilem iletim demetinin tıkanmasına bağlı olarak da oluşabilmektedir. 'Real' gerbera çeşidinin sap uçlarından izole edilen *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter junii*, *Bacillus stearothermophilus*, and *Myroides* sp., türleri vazo çözeltisine 3-5 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} konsantrasyonunda eklendiğinde, çiçeklerin su alımı, nispi taze ağırlığı ve vazo ömründe keskin düşüşler olmuştur. Buna karşılık, 24 saat boyunce 5 ve 10 mg/L nanogümüş içeren vazo çözeltisine bakteri inokülasyonu yapıldığında, nanogümüş uygulamaları (5 ve 10 mg/L için sırasıyla 12, 3 ve 12,5 gün) kontrole (5,8 gün) göre vazo ömrünü yaklaşık iki kart arttırmış, taze ağırlıklarını korumuş ve su alımını iyileştirmiştir (Şekil 3).Nano gümüş ayrıca çiçeklerin sap uçlarındaki bakteri kolonizasyonunu da azaltmıştır (Şekil 4). Dolayısıyla nano gümüş uygulamaları ksilem iletim demeti tıkanıklığını azaltarak, su alımını iyileştirmiş ve sap bükülmesini azaltarak vazo ömrünü uzatmıştır (Liu vd., 2021).



Şekil 3. 24 saat süreyle deiyonize su (kontrol) 5 ve 10 mg/L nanogümüş 'Real' gerbera çiçeğinin 10 günlük vazo ömrü süresince kalite değişimleri (Liu vd., 2021).



Şekil 4. 'Real' gerbera kesme çiçeklerinin vazo ömrü süresince sap uçlarındaki bakteri çoğalmasının SEM görüntüleri (Liu vd., 2021). (**A**–**D**) Vazo döneminin 1., 2., 3. ve 4. günlerinde deiyonize suya yerleştirilmeden önce kontrol grubu. (**E**–**L**) Vazo döneminin 1., 2., 3. ve 4. günlerinde deiyonize suya yerleştirilmeden önce 24 saat boyunca 5 mg L^{-1} nano gümüş (NS) (**E**–**H**) ve 10 mg L^{-1} NS (**I**–**L**) ile uygulanmış çiçekler. Kırmızı oklar bakterileri göstermektedir. Kesitlerdeki ölçek çubukları = 5 μm'dir.

'Rosalin' gerbera kesme çiçeklerinde sap bükülmesinin önlenmesinde kekik, karangil ve kimyoyn esaniyel yağları (25 ve 50 mg/L) ile nano gümüşün (5 ve 10 mg/L9 etkilerine yönelik yapılan çalışmada, 50 mg/L kimyon ve 25 mg/L karanfil yağı uygulamaları vazo ömrünü ve vazo çözeltisi alımını olumlu yönde etkileyerek sap eğilmesini azalttığı, yağlar ile birlikte uygulanan nano gümüşün ise, yağlara göre daha az etkili olduğu bulunmuştur (Nesreen vd., 2022).

3. PETAL YAŞLANMASI

Petal yaşlanması, kesme çiçeklerin görsel kalitesini ve vazo ömrünü sınırlandıran temel fizyolojik süreçlerden biridir. Etilen, özellikle etilene duyarlı kesme çiçeklerde petallerde solma, içe kıvrılma ve dökülme gibi yaşlanma belirtilerini hızlandırarak vazo ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte kesme çiçeklerin etilene karşı duyarlılığı türler arasında önemli ölçüde değişebildiği gibi aynı tür içerisindeki çeşitler arasında da farklılık gösterebilmektedir. Etilenin biyolojik olarak oldukça aktif olması nedeniyle etilene duyarlı tür ve çeşitlerde düşük konsantrasyonları dahi petal yaşlanmasını hızlandırabilmektedir.

Gümüş bileşiklerinin kesme çiçeklerde kullanımının önemli nedenlerinden biri, antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra etilenin sentez ve/veya etkisini sınırlandırabilmeleridir. Nano-gümüş uygulamalarının da etilen üretimini azaltarak yaşlanmayı geciktirebileceği bildirilmiştir (Naing ve Kim, 2020). Bu nedenle AgNP'lerin kesme çiçeklerde vazo ömrünü uzatıcı etkisinin bir bölümünün etilen metabolizmasının düzenlenmesiyle ilişkili olduğu ve AgNP'lerin anti-etilen

etki gösterebildiği kabul edilmektedir (El-Attar vd., 2022).
Etilen biyosentezinde S-adenozil metiyoninin (SAM) 1-aminosiklopropan-1-karboksilik aside (ACC), ACC'nin ise etilene dönüşümü temel basamakları oluşturmaktadır. Bu reaksiyonlar sırasıyla ACC sentaz (ACS) ve ACC oksidaz (ACO) enzimleri tarafından katalizlenmekte olup, bu enzimleri kodlayan genlerin ekspresyonundaki artış özellikle etilene duyarlı çiçeklerde yaşlanma sırasında medana gelen otokatalitik etilen üretiminde önemli rol oynamaktadır. AgNP'lerin petal senesensini geciktirici etkisinin de kısmen bu biyosentetik yolun ve etilen sinyalizasyonunun düzenlenmesiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Gamalero vd., 2023).
Bu mekanizmaya ilişkin önemli moleküler kanıtlar karanfil kesme çiçeklerinden elde edilmiştir. 'Koba Kabana', 'Purple Sky' ve 'Lufa' çeşitlerinde AgNP uygulaması, petal ve dişi organlardaki etilen üretimini önemli ölçüde azaltmış ve petal yaşlanmasını geciktirmiştir. AgNP uygulaması, etilen biyosentezinden sorumlu ACS1 ve ACO1 genleri ile petal yaşlanmasıyla ilişkili CP1 geninin ekspresyonunu baskılarken, yaşlanmanın engellenmesiyle ilişkili CPi geninin ekspresyonunu arttırmıştır. Ayrıca etilen sinyal iletiminde pozitif düzenleyici olarak değerlendirilen **EIL1/2, ERS2 ve EBF1** genlerinin ekspresyonunun AgNP uygulamasıyla baskılandığı belirlenmiştir. Bu bulgular AgNP'nin karanfillerde yalnızca etilen üretimini azaltmakla kalmayıp etilen sinyalizasyonu ve yaşlanmayla ilişkili genlerin transkripsiyonel düzenlenmesini de etkileyerek petal yaşlanmasını geciktirebildiğini göstermektedir (Naing vd., 2021).
Bu mekanizmanın farklı etilen duyarlılığına sahip çeşitlerdeki etkinliği kesme güllerde de incelenmiştir. Etilene duyarlı 'Matador' ve etilene duyarsız 'Dolcetto' çeşitlerinde nano-gümüş (NS), α-aminoisobütirik asit (AIB) ve 1-metilsiklopropenin (1-MCP) birlikte uygulanması (NS+AM), kontrol grubuna göre vazo ömrünü sırasıyla %217 ve %168.4 oranında artırmıştır. Kombine uygulama aynı zamanda etilen tarafından indüklenen etilen biyosentez genlerindeki artışı ve etilen reseptör genlerindeki azalmayı baskılayarak her iki çeşidin de dışsal etilene verdiği yanıtı azaltmıştır (Ha ve In, 2022). Dolayısıyla AgNP'nin antimikrobiyal etkisinin, etilen biyosentez ve algılama inhibitörleriyle birlikte kullanıldığında hem su stresinin hem de etilen kaynaklı senesensin eş zamanlı olarak sınırlandırılmasına katkı sağlayabileceği görülmektedir.
AgNP'nin etilen üretimi üzerindeki etkisine ilişkin doğrudan fizyolojik kanıtlar Alstroemeria 'Napoli' kesme çiçeklerinde de elde edilmiştir. Farklı nano-gümüş konsantrasyonlarının (5, 10, 15 ve 20 mg L^{-1}) değerlendirildiği çalışmada, 10 mg L^{-1} AgNP uygulaması en düşük etilen üretiminin elde edildiği uygulamalardan biri olmuş ve vazo ömrünü 22.66 güne kadar uzatmıştır. Aynı uygulama su alımı ve toplam klorofil içeriğinin korunmasında da etkili olmuş, MDA birikimini azaltmıştır. Ayrıca AgNP uygulamalarının sap ucundaki bakteri populasyonunu baskıladığı belirlenmiştir (Anvari vd., 2022). Bu sonuçlar AgNP'nin vazo ömrü üzerindeki etkisinin antimikrobiyal aktivite, su dengesinin korunması, oksidatif hasarın azaltılması ve etilen üretiminin sınırlandırılması gibi birbiriyle ilişkili süreçlerin ortak sonucu olabileceğini göstermektedi
Bu konuda karanfil, lisianthus ve gül kesme çiçeklerinin birlikte değerlendirildiği çalışmada daha kapsamlı moleküler kanıtlar elde edilmiştir. Araştırmada nano-gümüş, etilen biyosentez inhibitörü aminoetoksivinilglisin (AVG) ile birlikte uygulanmış ve NS+AVG uygulaması kontrol grubuna göre karanfil, lisianthus ve güllerin vazo ömrünü sırasıyla 4.5, 3.2 ve 3.0 gün uzatmıştır. Uygulama aynı zamanda su alımı ve taze ağırlığın korunmasını iyileştirmiştir. Moleküler analizlerde NS+AVG'nin karanfil ve gül petallerinde etilen biyosenteziyle ilişkili DcACS1, DcACO1, RhACS2 ve RhACO1 genlerinin transkript düzeylerini azalttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra uygulama, senesensle ilişkili DcCP1 ve RhSIG genlerinin

ekspresyonunu baskılarken, karanfilde senesensi engelleyici DcCPi geninin ekspresyonunu artırmıştır (Ha ve In, 2023). Bu sonuçlar AgNP'nin bir etilen biyosentez inhibitörüyle birlikte uygulanmasının hem etilen kaynaklı petal yaşlanmasını hem de su stresini eş zamanlı olarak sınırlandırabileceğini göstermektedir.

AgNP'nin etilen metabolizması üzerindeki etkisine ilişkin olarak, farklı AgNP konsantrasyonlarının değerlendirildiği çalışmada 2.5 µg mL^{-1} AgNP, vazo ömrünü kontrole göre 6 gün uzatmış ve en uygun konsantrasyon olarak belirlenmiştir. Bu uygulama etilen üretimini önemli ölçüde azaltırken etilenle ilişkili genlerin ekspresyonunu da baskılamıştır. Aynı zamanda ROS birikiminin azalması, antioksidan enzim aktivitelerinin artması ve glutatyon redüktaz sisteminin uyarılmasıyla antioksidan savunma güçlendirilmiştir. AgNP uygulaması sap uçlarındaki bakteriyel çoğalmayı ve ksilem damarlarında bakteriyel salgıların birikmesini de azaltmıştır. Dikkat çekici olarak, daha yüksek AgNP konsantrasyonları daha güçlü antimikrobiyal aktivite göstermesine rağmen çiçeklerin genel korunmasında 2.5 µg mL^{-1} uygulamasından daha etkili olmamıştır (Zhang vd., 2026). Bu durum, AgNP'nin petal senesensi üzerindeki etkisinin yalnızca antimikrobiyal aktiviteye bağlanamayacağını; etilen metabolizması, oksidatif stres ve su ilişkilerinin birlikte düzenlenmesinin vazo ömrünün uzamasında rol oynadığını göstermektedir.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, AgNP'lerin petal yaşlanmasını geciktirici etkisinin tek bir mekanizmaya bağlı olmadığı görülmektedir. Özellikle etilene duyarlı kesme çiçeklerde AgNP uygulamaları ACS ve ACO gibi etilen biyosentez genlerinin ekspresyonunu ve etilen üretimini azaltabilmekte, bunun yanı sıra etilen sinyalizasyonu ve senesensle ilişkili genlerin ekspresyonunu düzenleyebilmektedir. AgNP'nin AVG, AIB veya 1-MCP gibi etilen biyosentezi ya da algılanmasını engelleyen bileşiklerle birlikte uygulanması ise bu etkinin güçlendirilmesini sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, AgNP'nin antimikrobiyal aktivitesiyle ksilem iletkenliğini ve su alımını koruması ile oksidatif hasarı sınırlandırması da petal senesensinin geciktirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle AgNP'nin kesme çiçeklerdeki etkisinin antimikrobiyal aktivite–su dengesi–oksidatif stres–etilen metabolizması arasındaki etkileşim kapsamında değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Anvari, M., Hashemabadi, D., Asadpour, L. ve Kaviani, B. (2022). Mavi ışık ve nanogümüşün Alstroemeria 'Napoli' kesme çiçeklerinin vazo ömrü, antioksidan enzimler ve diğer bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus , 21* (5), 111-122.

Cerit, A., & Dalda Şekerci, A. (2025). Enhancing vase life and antioxidant defence in cut stock flowers using nano silver and nano copper vase solution. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1-12.

El-Attar, A. B. E. D. S., & Sakr, W. R. A. (2022). Extending vase life of carnation flowers by postharvest nano silver, humic acid and Aloe Vera gel treatments. *Ornamental Horticulture*, *28*, 67-77.

Gamalero, E., Lingua, G., & Glick, B. R. (2023). Ethylene, ACC, and the plant growth-promoting enzyme ACC deaminase. *Biology*, *12*(8), 1043.

Ha, S. T. T., & In, B. C. (2022). Combined nano silver, α-aminoisobutyric acid, and 1-methylcyclopropene treatment delays the senescence of cut roses with different ethylene sensitivities. *Horticulturae*, *8*(6), 482.

Ha, S. T. T., & In, B. C. (2023). The retardation of floral senescence by simultaneous action of nano silver and AVG in cut flowers, which have distinct sensitivities to ethylene and water

stress. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*,
Khalandi, B., Asadi, N., Milani, M., Davaran, S., Abadi, A. J. N., Abasi, E., & Akbarzadeh, A. (2017). A review on potential role of silver nanoparticles and possible mechanisms of their actions on bacteria. *Drug research*, *11*(02), 70-76.
Liu, J., Lai, L., Liu, H., Li, H., Yu, G., Sun, Y., & He, S. (2021). Nano-silver treatment reduces bacterial proliferation and stem bending in cut gerbera flowers: An in vitro and in vivo evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, *180*, 111595.
Liu, J., Zhang, Z., Li, H., Lin, X., Lin, S., Joyce, D. C., & He, S. (2018). Alleviation of effects of exogenous ethylene on cut 'Master'carnation flowers with nano-silver and silver thiosulfate. *Postharvest Biology and Technology*, *143*, 86-91.
Liu, S., Chen, Z., Li, H., Liu, J., Zhang, Y., Lin, G., & He, S. (2025). Significant enhancement in vase performance of cut lisianthus 'Lucetta': synergism between nano-silver and sucrose. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *100*(4), 507-518.
Naing, A. H., & Kim, C. K. (2020). Application of nano-silver particles to control the postharvest biology of cut flowers: A review. *Scientia Horticulturae*, *270*, 109463.
Naing, A. H., Soe, M. T., Kyu, S. Y., & Kim, C. K. (2021). Nano-silver controls transcriptional regulation of ethylene-and senescence-associated genes during senescence in cut carnations. *Scientia Horticulturae*, *287*, 110280.
Nesreen, M. D., Hosni, A. M., & Ouda, M. S. (2022). The vase life and quality of cut Gerbera jamesonii cv.'Rosalin'flowers are affected by natural essential oils (in normal and nano forms) and nano-silver particles. *Journal of Applied Horticulture*, *24*(2), 145-152.
Safaei Far, A., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Shahbazi, F., Ahmadi-Majd, M., & Fanourakis, D. (2024). Nano Silver and melatonin effectively delay the senescence of cut carnation flowers under simulated vibrational stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *99*(5), 597-608.
Saikia, A., Das, K., Kalita, P., Pegu, L., Sonowal, D., Brahma, S., & Saikia, A. (2025). Effect of pulsing treatments with salicylic acid, benzyl adenine and nano-silver on the vase life and quality of cut gerbera flower. *Plant Archives (09725210)*, *25*(2).
Şekerci, A. D., Barut, G., Özdal, H. S., & Ünsal, H. T. (2024). The effects of silver and copper nano Particle-Infused vase solutions on the vase life of cut Narcissus (Narcissus L.) flowers. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *39*(1), 231-240.
Wang, L., Hu, C., & Shao, L. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International journal of nanomedicine*, 1227-1249.
Zhang, X., Wu, Y., Zhu, J., Chen, C., Wang, R., Song, J., ... & Zou, J. (2026). Gümüş nanopartiküller, antioksidan savunma sistemlerini düzenleyerek ve mikrobiyal tıkanmayı engelleyerek kesme güllerin vazo ömrünü uzatır. *Scientia Horticulturae* , *359* , 114779.

MEYVE VE SEBZELERDE PROTOKATEŞİK ASİT UYGULAMALARININ HASAT SONRASI KALİTEYE ETKİLERİ

Ümmü Gülsüm FİDAN
Kocaeli University, Department of Horticulture, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 41100, Umuttepe, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0001-9429-1413
Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0003-2976-7320
Prof. Dr. Rezzan KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-2279-4767

ÖZET
Protokateşik asit (PCA), bitkisel kaynaklarda yaygın olarak bulunan bir hidroksibenzoik asittir. Antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesinin korunmasında potansiyel bir bileşik olarak araştırılmaktadır. Bu derlemede PCA'nın kimyasal özellikleri ve doğal kaynakları özetlenmiş; daldırma, püskürtme, yenilebilir kaplama ve taşıyıcı sistemler aracılığıyla dışsal uygulanmasına ilişkin çalışmalar ürün ve formülasyon özellikleri temelinde değerlendirilmiştir. Mevcut bulgular, PCA içeren uygulamaların bazı ürünlerde solunum hızını ve ağırlık kaybını sınırlayabildiğini; sertlik ve renk gibi kalite özelliklerinin korunmasına katkı sağlayabildiğini, oksidatif hasar göstergelerini ve mikrobiyal bozulmayı azaltabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte PCA'nın etkinliği ürün türüne, uygulama biçimine, depolama koşullarına ve birlikte kullanıldığı bileşenlere bağlı olarak değişmektedir. PCA ile zenginleştirilmiş kitosan, modifiye atmosfer ambalajı ve polisakkarit temelli kaplamalar, PCA'nın kullanımını geliştirme potansiyeli taşıyan yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Ancak bu uygulamalara ilişkin çalışmaların sınırlı olması, PCA'nın hasat sonrası korumadaki etkinliğinin daha kapsamlı biçimde araştırılmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda ürüne özgü doz ve uygulama koşullarının belirlenmesi; duyusal değerlendirmelerin yanı sıra kalıntı ve güvenlik analizlerinin yapılması önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Protokateşik asit; hasat sonrası kalite; yenilebilir kaplama; antioksidan aktivite; mikrobiyal bozulma; raf ömrü

EFFECTS OF PROTOCATECHUIC ACID APPLICATION ON THE POSTHARVEST QUALITY OF FRUITS AND VEGETABLES

ABSTRACT
Protocatechuic acid (PCA) is a hydroxybenzoic acid widely found in plant-derived materials. Owing to its antioxidant and antimicrobial properties, it has been investigated as a potential compound for preserving the postharvest quality of fruits and vegetables. This review summarizes the chemical properties and natural sources of PCA and evaluates studies on its external application through dipping, spraying, edible coatings, and carrier systems, with emphasis on product and formulation characteristics. Current findings indicate that PCA-containing treatments can limit respiration rate and weight loss in some products, help preserve

quality attributes such as firmness and color, and reduce indicators of oxidative damage and microbial spoilage. However, the efficacy of PCA varies according to the product, application method, storage conditions, and components used in combination with it. Chitosan enriched with PCA, modified atmosphere packaging, and polysaccharide-based coatings are among the approaches with potential to improve PCA delivery and application. Nevertheless, the limited number of studies on these applications highlights the need for more comprehensive research into PCA's effectiveness in postharvest preservation. Further work should establish product-specific doses and application conditions and include sensory evaluations, as well as residue and safety analyses.

Keywords Protocatechuic acid; postharvest quality; edible coating; antioxidant activity; microbial spoilage; shelf life.

1. GİRİŞ

Fenolik bileşikler, aromatik bir halka üzerinde bir veya daha fazla hidroksil grubu taşıyan ve bitkilerde büyük ölçüde ikincil metabolizma sonucunda oluşan geniş bir bileşik grubudur. Fenolik bileşikler içerisinde fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, tanenler, stilbenler, lignanlar ve kumarinler yer almaktadır. Yapısal çeşitlilikleri nedeniyle çözünürlükleri, hücre içindeki konumları ve biyolojik etkinlikleri aynı değildir. Bitkilerde serbest halde bulunabildikleri gibi şekerlere veya hücre duvarı bileşenlerine bağlı biçimde de yer alabilirler. Bu bileşikler bitkinin çevresel ve biyotik streslere yanıtında rol alırken, meyve ve sebzelerin rengi, tadı, oksidatif özellikleri ve besin değerine de katkıda bulunur (Mihaylova vd., 2024). Bitkisel ürünlerde yaygın olarak bulunan fenolik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde de potansiyel yararlı etkileri bulunmaktadır. Bu bileşikler farklı fizyolojik ve metabolic süreçlerde rol oynamakta; kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, kanser ve diyabet gibi hastalıkların gelişme riskinin azaltılmasıyla ilişkilendirilmektedir (Zhang vd., 2021).

Fenolik bileşikler meyve, sebze, tahıl, baklagil ve baharatlar dahil olmak üzere çok sayıda bitkisel üründe bulunmakla birlikte miktarı ve bileşimi; tür ve çeşide, bitki organına, yetiştirme koşullarına, olgunluk düzeyine, hasat zamanına ve depolama ya da işleme sürecine göre değişebilir. Aynı ürün içinde kabuk, et ve çekirdek gibi dokuların fenolik profilleri de farklılaşabilir (Mihaylova vd., 2024; Zhang vd., 2021). Fenolik bileşikler içerisinde yer alan fenolik asitler grubunda ise kafeik asit, gallik asit, p-kumarik asit, vanilik asit, ferulik asit ve protokateşik asit (PCA, 3,4-dihidroksibenzoik asit) yer almaktadır (Kakkar ve Bais, 2014). PCA, benzoik asit türevi bir hidroksibenzoik asit ve fenolik asit olup, molekülde benzen halkasının 3. ve 4. konumlarında bulunan iki hidroksil grubu, kateşol yapısını oluşturmaktadır. Bu yapı, PCA'nın hidrojen veya elektron vererek bazı serbest radikalleri etkisizleştirmesine ve oksidatif zincir reaksiyonlarını sınırlandırmasına katkı sağlamaktadır. PCA'nın antioksidan özelliğinin yanı sıra çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkinliği de bulunmaktadır. *In vitro* ve *in vivo* çalışmalarda antiaterosklerotik, antiinflamatuvar, antienoplastik, analjezik, antibakteriyel, hepatoprotektif ve anti viral özellik gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca PCA'nın kalp fonksiyon bozukluğu ve diyabetle ilişkili biyokimyasal değişikliklerin iyileştirilmesinde ve obeziteyle ilgili metabolic bozuklukların azaltılmasında rol oynadığı belirtilmektedir (Zhang vd., 2021).

PCA antioksidan kapasitesi ve antimikrobiyel özellikleri nedeniyle özellikle taze meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesinin korunması amacıyla yapılan araştırmalara konu olmuştur. PCA'nın *Alpinia oxyphylla* Miq., *Salvia miltiorrhiza* Bge., Hibiscus vb. gibi tıbbi ve aromatik bitkilerde yaygın olarak bulunan doğal bir fenolik asit olduğu özellikle gram-negatif bakterilere karşı geniş bir antimikrobiyal spektruma sahip olup bir tirozinaz inhibitörü olduğu belirtilmiştir. (Huang vd., 2022). Bu nedenlerle son yıllarda bitkilere dışsal olarak uygulanmasının,

mikroorganizma gelişimi, antioksidan kapasitenin arttırılması böylece hem hasat öncesi hem de hasat sonrası kalitenin arttırılmasına yönelik çalışmalar artma eğilimi göstermiştir. Bu çalışmalarda PCA tek başına uygulanabildiği gibi diğer bileşiklerle kombinasyon halinde de kullanılabilmektedir. PCA yenilebilir kaplama ve filmlerde kitosan ve polisakkarit gibi bir taşıyıcıya serbest bileşen olarak eklenebilmekte ya da polimere kimyasal olarak inoküle edilmektedir. Örneğin, biberler ile yapılan bir çalışmada PCA Tween 20 ile birlikte ürün yüzeyine kaplanmıştır (Huang vd., 2017). PCA'nın performansını geliştirmek üzere PCA ile inoküle edilmiş kitosan ve kitosan oligosakkarit taşıyıcıları da çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu sistemler, aktif bileşiğin yüzeyde tutulmasını, salımının düzenlenmesini ve kaplamanın su buharı veya gaz geçişine ilişkin özelliklerinin değiştirilmesini amaçlamaktadır (Liu vd., 2016 ve 2017; Jin vd., 2025). PCA içeren çözeltiler ayrıca modifiye atmosfer ambalajı (MAP) ve uçucu yağ, mineral tuz veya polisakkarit gibi ek bileşenlerle birlikte de değerlendirilmektedir. Bu kombinasyonlarda PCA'nın olası antioksidan veya antimikrobiyal etkileri, ambalaj atmosferi ve diğer bileşenlerin bariyer, antimikrobiyal ya da fizyolojik etkileriyle birlikte ortaya çıkmaktadır (Ji vd., 2026; Khedr ve Khedr, 2024; Ratanamarno vd., 2018).

Bu bildirinin amacı, PCA'nın hasat sonrası dışsal uygulamalarının meyve ve sebzelerde kaliteyi koruma potansiyelini güncel araştırmalar temelinde incelemek ve ürün yanıtlarını karşılaştırmalı biçimde değerlendirmektir. Bu amaçla PCA'nın antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile olası etki yolları açıklanmış; daldırma, kaplama, aktif ambalaj ve taşıyıcı sistemlerle ilgili çalışmalar ürün gruplarına göre sentezlenmiştir. Doğrudan PCA uygulamaları; PCA inoküle edilmiş polimerler, PCA içeren çok bileşenli formülasyonlar, PCA türevleri ve hasat öncesi uygulamalardan ayrı ele alınmıştır.

2. HASAT ÖNCESİ PCA UYGULAMALARININ KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesini etkileyen bazı fizyolojik süreçler hasattan önce şekillenmeye başlamaktadır. Bu nedenle bitkilerin gelişme dönemi içerisinde yapılan uygulamalar, ürünlerin hasat sırasındaki özelliklerinin yanı sıra hasattan sonraki depolama süresince yumuşama, renk ve besin içeriğindeki değişimler ile düşük sıcaklıklara duyarlılık gibi kalite ölçütlerini etkileyebilmektedir.

'Le-Conte' armudunda tam çiçeklenme döneminde ve üç hafta sonrasında yapraktan PCA uygulamasının verim, meyve tutumu, taş hücresi ve lignin içeriği, askorbik asit ve antioksidan kapasite gibi özelliklerle ilişkili olduğu bildirilmiştir. 200 ppm uygulama meyve rengi ve kalite özelliklerinin korunması, şeker ve askorbik asit miktarı ile antioksidan kapasitenin desteklenmesi bakımından öne çıkarken, 300 ppm ise meyve tutumu ve verim bakımından etkili olmuştur. Ayrıca 200 ppm dozu taş hücresi oluşumunu ve lignin içeriğini azaltarak, meyve dokusunun gelişimine olumlu katkıda bulunmuştur (Khedr ve Khedr, 2024). Sarımsakta hasattan üç hafta önce uygulanann PCA ve absisik asitin (ABA), sarmısak başlarının depolanması süresince dormansi ve filizlenme ile ilişkili fizyolojik süreçlere etkili olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca oda sıcaklığında depolamanın sarmısakların depo ömrünü uzatıcı etki gösterdiği de tespit edilmiştir (Ratanamarno vd., 2018).

PCA'nın *Aspergillus* türlerine karşı antifungal etkisi ile aflatoksin B_1 oluşumunu baksılama potansiyeli mısır tanelerinde de araştırılmıştır. PCA *A.* flavus gelişimini ve AFB_1 biyosenteziyle ilişkili genlerinin ekspresyonunu azaltmış, hasat sonrasında ise AFB_1 kontaminasyonu üzerinde de doza bağlı sınırlayıcı etki göstermiştir. Dolayısıyla PCA ürünlerin depolanması sırasında küf felişimi ve mikotoksin oluşumunu kontrol ederek mikrobiyolojik güvenliğin korunmasına da katkı sağlayacbilecektir. (El-Desouky, 2025).

3. HASAT SONRASI PCA UYGULAMALARININ KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1. Biyokimyasal kalite

Meyve ve sebzeler hasattan sonra da metabolik faaliyetlerini devam ettirdikleri için hasat sonrası tüm süreçlerde ürüne uygun sıcaklık ve nem şartlarına maruz bırakılmadıkça kalite kaybına uğramaktadırlar. Meyve ve sebzelerde hasat sonrasında oluşan başlıca kalite kayıpları arasında, üründen oluşan su kaybı sonucu ağırlık kayıpları, solunum ve dolayısıyla metabolizma hızının artışına bağlı olarak meydana gelen yumuşamalar, yeşil renkli ürünlerde klorofil kaybına bağlı olarak oluşan sararmalar sayılabilir. Bu kayıpların azaltılmasında değişik teknolojilerden yararlanılmakla birlikte son dönemde PCA'nın bu yöndeki etkileri de araştırılmaya başlanmıştır. *Pleurotus eryngii* mantarında PCA inoküle edilmiş kitosan kaplama (PA-g-CS) solunum hızını yavaşlatarak, ağırlık kaybını azaltmış ve sertliği korumuştur (Liu vd., 2016). Benzer şekilde yeşil biberlerde PCA (125 g/L) ve Tween-20 (%0,02) içeren koruyucu formülasyon 21 günlük depolama sonunda ağırlık kaybını kontrol gurubunun altında tutmuş, solunum hızını ve buna bağlı olarak C vitamini ve klorofil kaybını yavaşlatmıştır (Huang vd., 2017). Kültür mantarında (*Agaricus bisporus*) PCA (118 mg/L), $CaCl_2$ (%0,83), NaCl (%0,55) ve pullulan (%0,30) içeren koruyucu kaplama uyglaması 4°C sıcaklıkta muhafaza süresince mantarların solunum hızını %26 oranında arttırmış, çözünür protein ve nükleik asit miktarını da arttırıcı etki gösterirken serbest amino asit miktarını azaltmıştır. Kaplama uygulaması mantarın karakteristik lezzet bileşiği olan 3-oktanon miktarını arttırmış, bu da mantarların lezzetini iyileştirmiştir (Huang vd., 2022). Kiraz domateslerinde oktenil süksinik anhidrit (OSA)+modifiye demirhindi çekirdeği polisakkaridi (TSP)+PCA metil esteri ve semizotu polisakkaridinden (POP) oluşan kompozit kaplama, askorbik asit ve likopen kaybını yavaşlatarak raf ömrünü 16 günden 20 güne çıkarmıştır (Zhang vd., 2025). Kiraz domatesleri ile yapılan benzer bir çalışmada da karanfil esansiyel yağı taşıyıcısı olarak PCA inoküle edilmiş kitosan kaplama (PCA-g-CS) uygulaması, ağırlık kaybı ve solunum hızını azaltarak, meyvelerin yumuşamasını geciktirmiştir. Böylece kiraz domateslerinin fizikokimyasal kalitesi korunarak raf ömrü uzatılmıştır (Jin vd., 2025).

PCA ürünlere modifiye atmosfer paket (MAP) uygulaması ile kombine olarak da uygulanabilmekte, böylece ürünün hasat sonrası kalitesi iyileştirilmektedir. Hidroponik sistemde ve toprak ortamında yetiştirilen marullara PCA+MAP kombinasyonu uygulaması 4°C sıcaklık ve %87 oransal nem şartlarında depolanan marul yapraklarında klorofil kaybını baskılayarak kalite göstergelerinin korunmasına katkı sağlamıştır. Bununla birlikte uygulamanın etkisi yetiştirme ortamına göre değişiklik göstermiş, toprak ortamında yetiştirilen marulun kalitesi hidroponikte üretilene göre daha iyi korunmuş, marulların raf ömrü hidroponik sistemde 14 gün, toprak ortamında 15 gün olarak belirlenmiştir (Ji vd., 2026).

3.2. Oksidatif bozulma ve renk değişimleri

Hasat sonrasında meyve ve sebzeler solunum ve olgunlaşma gibi metabolik süreçlerini sürdürmektedir. Bu nedenle hasat sırasında ve sonrasında ürüne yapılan işlemler, taşıma ve depolama süreçlerindeki sıcaklık değişimleri, su kaybı, mekanik zedelenme ve kesilme gibi etkenler reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini arttırabilmektedir. ROS'ların düşük miktarları hücresel sinyal işlevi görürken, antioksidan savunma kapasitesini aşan düzeydeki birikimleri oksidatif strese ve doku zararına yol açmaktadır (Meitha vd., 2020; Wei vd., 2025). ROS; mitokondri, kloroplast ve peroksizomlardaki metabolik süreçler sırasında oluşmakta, dokular bunları SOD, CAT ve APX gibi enzimler ile askorbik asit, glutatyon ve fenolik bileşikler gibi antioksidanlar aracılığıyla etkisiz hale getirmektedir. Ancak stresin şiddeti veya süresi arttığında bu savunma yetersiz kalabilmekte (Meitha vd., 2020), aşırı ROS, hücre zarlarındaki lipitlerin peroksidasyonunu hızlandırarak membran bütünlüğünü ve geçirgenliğini

bozarak elektrolit sızıntısı ve MDA birikimi arttırabilmektedir. Bu zarar hücre içi bölmelerin işlevini aksatıp yaşlanmayı ve yumuşamayı hızlandırabilmekte, soğuğa duyarlı ürünlerde oksidatif zarar, üşüme zararı ve renk bozukluklarıyla ilişkili olarak ortaya çıkmakadır (Meitha vd., 2020; Valenzuela vd., 2017).

PCA, flavonoidler arasında en güçlü antioksidan olan antosiyaninler ve proantosiyanidinlerin birincil metablitidir (Winter ve Bickford, 2019; Martin vd., 2017). PCA'nın antioksidan kapasitesi, oksidatif reaksiyonların sınırlandırılması ve buna bağlı olarak MDA birikimi ile elektrolit sızıntısının azaltılması yoluyladır. PCA içeren uygulamalarda antioksidan enzim aktivitelerinin korunduğu ve düzenlendiği belirtilmiştir. Örneğin *Pleurotus eryngii* mantarında PCA inoküle edilmiş kitosan kaplama uygulamasının PPO aktivitesi, MDA ve ROS aktivitesini düşürürken, antioksidan enzim aktivitelerini arttırması kalitenin korunmasında oksidatif süreçlerin yavaşlatılmasının etkili olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde yeşil biberde PCA ve Tween-20 içeren kompozit kaplama, PPO aktivitesini azaltmanın yanısıra, MDA birikimini sınırlamış, POD ve CAT aktivitelerini düzenleyerek kahverengileşmeyi veya yaşlanmayla ilişkili renk kaybını azaltmıştır. (Liu vd., 2016; Huang vd., 2017). Benzer biçimde, soğukta depolanan 'Fuji' elmalarında kahverengileşmiş dokuların yüksek ROS ve membran hasarı göstergeleriyle; düşük askorbik asit, glutatyon, CAT ve APX düzeyleriyle birlikte görülmesi, oksidatif dengenin renk değişimleriyle ilişkisini desteklemektedir (Wang vd., 2025).

3.3. Mikrobiyal kalite

PCA'nın hasat sonrası kaliteyi korumadaki potansiyeli antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin birlikte etkili olmasına dayanmakta; fenolik hidroksil grupları aracılığıyla ROS'ları etkisiz hale getirebilmekte, dolayısıyla lipid peroksidasyonunun ve buna bağlı membrane bozulmasını sınırlayarak, depolama sırasında kalite kaybının yavaşlamasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca bazı yaygın bozulmaya yol açan mikroorganizmaların gelişimini de baskılaması PCA'nın taze meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesinin korunmasındaki olası rolünü desteklemektedir (Ji vd., 2026). PCA'nın domates bakteriyel kanserine neden olan *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*'e (Cmm) karşı antibakteriyel etkinliğinin incelendiği çalışmada, PCA'nın C mm için minimum inhibitör konsantrasyonu 0,156 mg/mL olarak belirlenmiş olup önleyici ve tedavi edici etkinliği sırasıyla %60-70 ve %64,70-74,51 aralığında bulunmuştur (Cai vd., 2024).

PCA'nın bazı bozulma etmenlerine karşı doğrudan antimikrobiyal etkinlik göstermesi, çürümenin sınırlandırılması bakımından önemlidir. Bununla birlikte PCA'nın antimikrobiyal etkinliğinin gücü; hedef mikroorganizmanın türüne, PCA konsantrasyonuna, temas süresine, ortamın pH ve bileşimine ve yüzeydeki organik madde varlığına bağlı olarak değişebilmektedir (He vd., 2023; Jin vd., 2025). *Hypsizygus marmoreus* mantarında sinnamik asit, PCA ve $CaCl_2$'den oluşan kaplama uygulaması . 4 ± 1 °C'de depolama süresince *Trichoderma harzianum* kaynaklı çürüme oranını ve hastalık görülme sıklığını azaltmıştır. Ayrıca uygulamanın savunma ile ilişkili enzim aktivitelerini ve prolin içeriğini arttırması, mantarın hastalığa karşı savunma mekanizmasını da harekete geçirerek dayanımı arttırdığını da göstermiştir (He vd., 2023). Benzer şekilde çilekte *Botrytis cinerea* kaynaklı gri küfün kontrolünde PCA metil esteri etkili olmuş, uygulama mantar misel gelişimini ve spor çimlenmesini baskılarken, mantarın hücre zarı bütünlüğünü de bozmuştur. Ayrıca meyvede savunma mekanizmasını antioksidan metabolizması ile ilişkini genlerin ifadesini arttırmak yoluyla harekete geçirmiştir (Yuan vd., 2024).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derlemede incelenen çalışmalar, protokateşik asidin (PCA) meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesini koruma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Yeşil biberde PCA ve Tween-

20 içeren kaplama, bazı yenilebilir mantarlarda PCA aşılanmış kitosan uygulaması ve marulda PCA ile modifiye atmosfer ambalajının birlikte kullanılması; belirli depolama koşullarında ağırlık kaybı ve solunumun sınırlandırılması, sertlik ve renk özelliklerinin korunması, oksidatif hasar göstergelerinin ve mikrobiyal bozulmanın azaltılmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu etkiler PCA'nın antioksidan ve antimikrobiyal özellikleriyle açıklanabilir; ancak etkinin büyüklüğü ürün türüne, uygulama biçimine, doza ve depolama koşullarına bağlıdır. Gelecek araştırmalarda serbest PCA, taşıyıcı kontrolü ve çok bileşenli formülasyonlar aynı deney düzeninde karşılaştırılmalı; ürüne özgü doz ve uygulama koşulları belirlenmelidir. Fiziksel ve biyokimyasal kalite ölçümlerine duyusal kabul, kalıntı ve güvenlik değerlendirmeleri ile ticari depolama koşullarındaki doğrulama çalışmaları da eklenmelidir. Bu çalışmalar, PCA'nın hasat sonrası kullanımındaki etkinliğini ve uygulanabilirliğini daha güvenilir biçimde ortaya koyacaktır.

KAYNAKLAR

Cai, J., Sun, L., & Wang, Q. (2024). Antibacterial activity and mechanism of protocatechuic acid against bacterial canker of tomato caused by Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis. Food Bioscience, 60, 104437. doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104437

El-Desouky, T. A. (2025). Protocatechuic acid inhibits aflatoxin production and modulates gene expression in Aspergillus flavus. Scientific Reports, 15, 24998. doi.org/10.1038/s41598-025-09695-4

He, X., Wang, L., Xia, B., Cao, X., Hu, N., Huang, J., & Yi, Y. (2023). Antifungal effect of cinnamic acid and induced resistance of cinnamic acid-protocatechuic acid-$CaCl_2$-NaCl-pullulan composite preservative to Trichoderma harzianum in postharvest Hypsizygus marmoreus. LWT, 184, 115108. doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115108

Huang, J., Liu, C., Luo, C., Yi, Y., Xia, B., Bai, L., & Li, G. (2017). Effect of protocatechuic acid composite coating on postharvest preservation of green hot peppers. Food Science, 38(17), 251-259. doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201717041

Huang, J., Xiao, L., Yi, Y., Li, B., Sun, R., & Deng, H. (2022). Preservation mechanism and flavor variation of postharvest button mushroom (Agaricus bisporus) coated compounds of protocatechuic acid-$CaCl_2$-NaCl-pullulan. LWT, 169, 114020. doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114020

Ji, A., Xie, J., & Ding, Z. (2026). Combined effects of protocatechuic acid and modified atmosphere packaging on postharvest quality of hydroponic and soil-cultivated lettuce. Journal of Food Measurement and Characterization, 20, 11772-11788. doi.org/10.1007/s11694-026-04455-y

Jin, W., Hu, E., Wang, J., Yu, X., Ji, Q., & Tang, N. (2025). Effect of protocatechuic acid-grafted chitosan-based coatings enriched with clove essential oil microcapsules to improve the postharvest quality of cherry tomatoes. Journal of Food Science, 90, e70247. doi.org/10.1111/1750-3841.70247

Kakkar, S., & Bais, S. (2014). A review on protocatechuic acid and its pharmacological potential. *International Scholarly Research Notices*, *2014*(1), 952943. https://doi.org/10.1155/2014/952943

Khedr, E. H., & Khedr, N. (2024). Enhancing productivity, modifying biochemical parameters, and regulating the phenylpropanoid pathway in Le-Conte pears through optimal protocatechuic acid treatments. BMC Plant Biology, 24, 50. doi.org/10.1186/s12870-023-04715-9

Liu, J., Meng, C. G., Wang, X. C., Chen, Y., Kan, J., & Jin, C. H. (2016). Effect of protocatechuic acid-grafted-chitosan coating on the postharvest quality of Pleurotus eryngii. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64(38), 7225-7233.

doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02468
Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J., & Jin, C. (2017). Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film. Food Hydrocolloids, 73, 90-100. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.035
Martín, J., Kuskoski, E. M., Navas, M. J., & Asuero, A. G. (2017). Antioxidant capacity of anthocyanin pigments. *Flavonoids-from biosynthesis to human health*, *3*, 205-25.
Meitha, K., Pramesti, Y., & Suhandono, S. (2020). Reactive oxygen species and antioxidants in postharvest vegetables and fruits. *International Journal of Food Science*, 2020, 8817778. https://doi.org/10.1155/2020/8817778
Mihaylova, D., Dimitrova-Dimova, M., & Popova, A. (2024). Dietary phenolic compounds-Wellbeing and perspective applications. International Journal of Molecular Sciences, 25(9), 4769. doi.org/10.3390/ijms25094769
Ratanamarno, S., Surbkar, S., & Supa, C. (2018). Effect of protocatechuic acid (PCA) and abscisic acid (ABA) preharvest treatment for sprouting inhibition and storage temperature for garlic (Allium sativum L.) on the PCA and ABA residue in relation to bulb dormancy. Acta Horticulturae, 1213, 135-144. doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1213.18
Valenzuela, J. L., Manzano, S., Palma, F., Carvajal, F., Garrido, D., & Jamilena, M. (2017). Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: Postharvest technological and biotechnological solutions. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(7), 1467. https://doi.org/10.3390/ijms18071467
Wang, J., Li, F., Li, B., Li, L., Shang, J., Fu, X., ... & Ahmed, Z. F. (2025). ROS-mediated membrane damage and antioxidant imbalance drive apple flesh browning during cold storage. Frontiers in Plant Science, 16, 1718635.
Wei, W. vd. (2025). Effects of reactive oxygen species on fruit ripening and postharvest fruit quality. *Plant Science*, *352*, 112391. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.1123914
Winter A. N. and Bickford P. C., Anthocyanins and their metabolites as therapeutic agents for neurodegenerative disease, *Antioxidants*. (2019) 8, no. 9, https://doi.org/10.3390/antiox8090333, 2-
Yuan, S., Wang, B., Wang, M., Sun, M., Wang, X., Li, X., Yang, N., Xu, X., Zheng, S., & Wang, Q. (2024). Antifungal mechanism of protocatechuic acid methyl ester against Botrytis cinerea in postharvest strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology, 211, 112787. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112787
Zhang, M., Chen, H., Wang, L., Zhang, S., & Yu, Y. (2025). Antioxidant and antimicrobial activities of octenyl succinic anhydride modified Tamarind/Portulaca polysaccharide coating incorporated with protocatechuic acid methyl ester and its application in cherry tomatoes preservation. Food Packaging and Shelf Life, 52, 101612. doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.101612
Zhang, S., Gai, Z., Gui, T., Chen, J., Chen, Q., & Li, Y. (2021). Antioxidant effects of protocatechuic acid and protocatechuic aldehyde: Old wine in a new bottle. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021, 6139308. doi.org/10.1155/2021/6139308

POSTHARVEST VASE-SOLUTION COMPONENTS AND VASE LIFE OF GLADIOLUS CUT FLOWERS

Mohamed AHMED MOHAMUD
Kocaeli University, Department of Horticulture, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 41100, Umuttepe, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0003-0684-1193
Prof. Dr. Mehmet Ufuk KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0003-2976-7320
Prof. Dr. Rezzan KASIM
Kocaeli University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, 41285, Kartepe, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-2279-4767

ABSTRACT
Gladiolus is an important cut flower, but its postharvest quality and vase life are influenced by floret senescence, carbohydrate availability, and water relations. This review synthesizes gladiolus studies published between 2015 and 2026 on vase-solution components and their reported effects. It examines sucrose as an external carbon source; antimicrobial preservatives, including silver nitrate and 8-hydroxyquinoline derivatives; acidifiers and solution conditioners; salicylic acid and sulfosalicylic acid; and plant-derived extracts and essential oils. The literature indicates that treatment responses vary with cultivar, concentration, application method, and solution composition. Results from combined treatments can demonstrate the performance of a formulation, but do not necessarily establish synergy or reveal the contribution of each component. The reviewed studies also distinguish antimicrobial uses of silver compounds from the ethylene-inhibiting role of silver thiosulfate, and physiological regulation by salicylic acid and related compounds from conventional germicidal action. Differences in experimental conditions and vase-life definitions limit direct comparisons among studies. Future research should use factorial designs, report treatment and handling conditions in detail, and measure water relations, microbial populations, floret opening, and relevant physiological traits. Such work is needed to develop reliable, cultivar-specific recommendations for commercial gladiolus handling.
Keywords: Gladiolus, cut flowers, vase life, sucrose, antimicrobial preservatives, salicylic acid, plant extracts.

GLAYÖL KESME ÇİÇEKLERİNDE HASAT SONRASI VAZO ÇÖZELTİSİ BİLEŞENLERİ VE VAZO ÖMRÜ

ÖZET
Glayöl, önemli bir kesme çiçek türüdür; ancak hasat sonrası kalite ve vazo ömrü, çiçekçiklerin yaşlanması, karbonhidratların kullanılabilirliği ve su ilişkilerinden etkilenir. Bu derlemede, 2015–2026 yılları arasında yayımlanan ve vazo çözeltisi bileşenlerini ve bunların bildirilen etkilerini inceleyen glayöl çalışmaları bir araya getirilmiştir. Sakkarozun dışarıdan sağlanan bir karbon kaynağı olarak rolü; gümüş nitrat ve 8-hidroksikinolin türevleri dâhil antimikrobiyal koruyucular; asitleyiciler ve çözelti düzenleyiciler; salisilik asit ve sülfosalisilik asit; ayrıca bitki özütleri ve uçucu yağlar ele alınmıştır. Literatür, uygulamalara verilen yanıtların çeşide,

konsantrasyona, uygulama yöntemine ve çözelti bileşimine göre değiştiğini göstermektedir. Birden fazla bileşen içeren uygulamaların sonuçları, formülasyonun genel performansını ortaya koyabilir; ancak tek başına sinerjiyi kanıtlamaz veya her bir bileşenin katkısını belirlemez. İncelenen çalışmalarda gümüş bileşiklerinin antimikrobiyal amaçlı kullanımı ile gümüş tiyosülfatın etilen etkisini engelleyici rolü; salisilik asit ve ilişkili bileşiklerin fizyolojik düzenleyici etkileri ile geleneksel mikrop öldürücü uygulamalardan ayrı değerlendirilmiştir. Deney koşullarındaki ve vazo ömrünü tanımlama biçimlerindeki farklılıklar, çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırma yapılmasını sınırlandırmaktadır. Gelecek araştırmalarda faktöriyel deneme desenleri kullanılmalı, uygulama ve hasat sonrası işlem koşulları ayrıntılı biçimde raporlanmalı; su ilişkileri, mikrobiyal popülasyonlar, çiçekçiklerin açılması ve ilgili fizyolojik özellikler ölçülmelidir. Bu çalışmalar, ticari glayöl uygulamaları için güvenilir ve çeşide özgü öneriler geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.
Anahtar kelimeler: Glayöl, kesme çiçekler, vazo ömrü, sakkaroz, antimikrobiyal koruyucular, salisilik asit, bitki özütleri

1. INTRODUCTION

Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L. and related commercial hybrids) is widely used as a cut flower because its upright inflorescence carries numerous florets that open in sequence. This flowering pattern creates a distinctive postharvest challenge: the spike must retain the quality of open florets while supporting the development of unopened buds. Water relations, carbohydrate availability, harvest maturity, cultivar, and handling conditions can all influence the period for which a spike remains marketable. A recent review of gladiolus research likewise describes vase life as the result of interacting preharvest and postharvest factors rather than a response to one preservative ingredient alone (Sarje et al., 2024).

Vase solutions are designed to address more than one limiting process. Sucrose supplies an external carbon source that may support respiration and floret development. Antimicrobial preservatives are used to reduce microbial proliferation in the solution and help maintain water transport through the stem. Acidifiers can change solution chemistry, including pH, while salicylic acid (SA) and related compounds have been studied for their effects on physiological responses associated with senescence. Plant extracts and essential oils are also under investigation as possible alternatives or supplements. These categories overlap in their observed outcomes, but their proposed functions and evidence should not be conflated (Nguyen ve Lim, 2021).

Recent gladiolus studies illustrate why treatment results require context. Reported outcomes differ with cultivar, concentration, pulsing versus continuous holding, solution composition, harvest maturity, and the criteria used to define vase life. For example, a treatment reported to perform best in ‘White Prosperity’ does not establish an optimum for ‘Gunjan’ or ‘Arka Amar’. Likewise, a vase-life value from a short pulse cannot be compared directly with a continuous vase-solution treatment. This review summarizes evidence published from 2015 to 2026, emphasizing the tested formulation and the limits on interpreting each result.

2. ROLES OF VASE-SOLUTION COMPONENTS IN GLADIOLUS

2.1. Carbohydrates

After harvest, the spike is disconnected from the plant’s continuing supply of assimilates. Its remaining reserves must support respiration and the opening and maintenance of florets, so an external sugar source is often included in postharvest treatments. Sucrose is the most frequently tested carbohydrate in gladiolus vase solutions. It can provide substrate for metabolism and help sustain the sequential development of florets, but its benefit depends on the cultivar, dose,

treatment duration, and accompanying ingredients (Majumder and Sharangi, 2024). It should not be treated as a universal vase-life enhancer at any concentration.

The need to support unopened buds as well as open florets is reflected in experiments using pulsing treatments. In cv. 'Melody', a four-hour pulse with 200 ppm 8-hydroxyquinoline citrate (8-HQC) plus 10% sucrose, or 400 ppm aluminum sulfate plus 20% sucrose, produced the longest vase life in that experiment (12.77 days) (Jain et al., 2017). Because sugar was combined with another solution component and delivered as a pulse, these results describe the complete treatment and cannot be used to isolate sucrose's contribution. In yellow gladiolus, a holding solution with 3% sucrose and 100 ppm silver thiosulfate (STS) produced a total vase life of 21.5 days (Uddin et al., 2016). That value is the recorded life of the treated spikes, not an increase of 21.5 days over the control.

Non-sucrose formulations have also been studied. In cv. 'Pusa Chandni', a holding solution containing 50% coconut water, 50% distilled water, and 2% sucrose gave the longest vase life among the tested holding solutions (10.67 days), whereas 4% sucrose produced the largest floret size (Kumar et al., 2025). In cv. 'Swarnima', a study of household food sources found that a treatment containing 100 mL L^{-1} Sprite had the longest vase life among the tested treatments (9.33 days) (Sowjanya et al., 2022). The Sprite result is a response to a mixed beverage formulation, not evidence for a particular pure-sugar dose; its composition and co-ingredients limit direct comparison with sucrose trials.

Recent combination studies further show that concentration alone does not predict performance. Khan et al. (2024) reported a maximum vase life of 15.33 days for gladiolus spikes held in 0.05 g L^{-1} silver nitrate plus 60 g L^{-1} sucrose (equivalent to 50 mg L^{-1} and 6%, respectively) among their tested treatments. In a separate study on cv. 'Arka Amar', 2% sucrose with 50 ppm silver nitrate and 100 ppm citric acid improved several quality measures, including water uptake and floret opening (Choudhury & Patra, 2025). Since these formulations contain multiple active components, the results support evaluation of balanced mixtures rather than a claim that sucrose alone caused all observed improvements.

Sugar may influence water relations indirectly through metabolism and osmotic effects, but solution uptake is governed by the balance between water absorbed and water lost. Therefore, improved fresh weight or turgidity in a sucrose-containing mixture should not automatically be assigned to sucrose alone. In addition, sugar can provide a substrate for microbial growth if the solution lacks effective microbial control. Future trials would be more informative if they report sucrose concentration, pulse or holding method, solution replacement schedule, microbial load, and cultivar, and include treatments that separate the effects of sugar from those of co-additives.

2.2. Biocides and antimicrobial preservatives

Microorganisms can multiply in vase water and at cut stem surfaces. Their growth may contribute to vessel blockage and reduced water uptake, but it is not the only cause of impaired water transport: physiological occlusion, air entry, and tissue changes can also play a role. Germicides are consequently best described as one tool for managing microbial growth, not a guarantee of longer vase life. Their value depends on dose, cultivar, solution composition, and the handling conditions used in each experiment.

Silver nitrate ($AgNO_3$) and 8-hydroxyquinoline compounds have been tested as antimicrobial components. Evidence also shows that outcomes differ across compounds. For cv. 'White Friendship', Casares et al. (2017) compared sodium dichloroisocyanurate dihydrate (Na-DCC), 8-hydroxyquinoline (8-HQ), and polymeric biguanide in solutions containing 4% sucrose. Na-DCC produced the highest vase life, proportion of fully open flowers, fresh mass, and water balance in that experiment. Polymeric biguanide performed similarly to sucrose alone, while 8-

HQ produced high solution uptake but also more wilting flowers. This is a useful counterexample to the assumption that every germicide improves every quality measure.

The concentration response for 8-HQS is also cultivar- and treatment-specific. In cv. 'White Prosperity', 300 ppm 8-HQS resulted in a reported vase life of 9.00 days, compared with 7.40 days at 200 ppm (Ejaz et al., 2024). In cv. 'American Beauty', 300 ppm 8-HQS combined with 4% sucrose was the best-performing tested treatment (Angel & Kumar, 2021). These findings support further use-specific evaluation, but do not establish a universal optimum or prove that 8-HQS and sucrose always act synergistically.

$AgNO_3$ should also be distinguished from STS. $AgNO_3$ is commonly assessed for antimicrobial effects in vase solutions; STS is used primarily to interfere with ethylene action. The 21.5-day result in yellow gladiolus was obtained with sucrose plus STS, and should not be cited as evidence for silver nitrate's antimicrobial effect (Uddin et al., 2016). In cv. 'Arka Amar', silver nitrate was part of a three-component treatment with sucrose and citric acid (Choudhury & Patra, 2025). Together with the 15.33-day result for $AgNO_3$ plus sucrose reported by Khan et al. (2024), these studies demonstrate the promise of particular combinations, while leaving the independent contribution of each component unresolved.

Silver nanoparticles represent a separate class of formulation. Maity et al. (2019) reported improved performance and reduced vascular blockage in gladiolus treated with Piper betle-mediated silver nanoparticles; the tested vase solution containing 4% sucrose and 4 ppm nanoparticles performed favorably among their comparisons. A later nano-silver pretreatment study reported reduced free-water mobility and stem decay, with improved water retention and postharvest longevity (Li et al., 2025). Nanoparticle findings cannot be generalized to conventional silver salts, nor do performance data alone establish environmental safety. Silver use and disposal should be evaluated alongside efficacy, especially before recommending routine commercial application.

2.3. Acidifiers and solution conditioners

Citric acid and aluminum sulfate are often included as solution conditioners because they can alter pH and other chemical properties of the vase solution. Lower pH may influence microbial growth and water movement, but the effect depends on starting water quality, dose, and interactions with other ingredients. These compounds should therefore not automatically be grouped with germicides or described as having a fixed antimicrobial effect. The concentration and pH actually achieved in the solution are important information for interpreting experimental results.

In cv. 'American Beauty', Koirala et al. (2023) reported 18.11 days of vase life for a solution containing 4% sucrose and 200 ppm citric acid, compared with 15.56 days for the distilled-water control. The combined treatment does not reveal how much of the difference resulted from citric acid, sucrose, or their interaction. A 2025 trial on cv. 'Arka Amar' used 2% sucrose, 50 ppm $AgNO_3$, and 100 ppm citric acid and reported improved water uptake, floret opening, and a spike flowering duration of 14.66 days (Choudhury & Patra, 2025). Since silver nitrate was also present, the result cannot be attributed to citric acid alone.

A separate 2025 study compared sucrose concentrations with citric-acid additions and reported favorable performance for combinations including 6% sucrose plus 45 ppm citric acid, and 2% sucrose plus 15 ppm citric acid, relative to distilled water (Singh et al., 2025). The study's abstract describes different outcome measures and identifies a particular combination as effective; it does not justify treating either dose as a general recommendation. In cv. 'Priscilla', 2026 treatments combined 2% sucrose with silver nitrate or aluminum sulfate; 50 ppm silver nitrate improved most of the reported quality traits (David et al., 2026). That comparison does

not establish a consistent vase-life effect for aluminum sulfate across cultivars.

Taken together, these studies point to the value of reporting solution pH before and after treatment, water source, microbial counts, and the full factorial treatment design. Such reporting would clarify whether an acidifier acts mainly through solution chemistry, interacts with a germicide, or changes the response to carbohydrate supply.

2.4. Physiological regulators: salicylic acid and sulfosalicylic acid

Salicylic acid (SA) and 5-sulfosalicylic acid (SSA) are more appropriately discussed as compounds that may modify plant physiological responses than as conventional germicides. Postharvest senescence is associated with oxidative stress, membrane deterioration, and changes in water relations. SA treatments have been investigated for their relationship to antioxidant activity and membrane stability in gladiolus, including application before or after simulated transport (Rahmani et al., 2015). Because application timing can change the response, results from a transport pretreatment should not be equated with continuous vase-solution exposure.

In cv. 'Gunjan', a combined treatment of 1 mM SSA and 4% sucrose produced a vase life of 9.11 days, compared with 5 days for the control, and was statistically comparable to 400 ppm 8-HQC (Jain et al., 2021). This is evidence for the tested SSA-plus-sucrose formulation, but the design does not isolate SSA's independent contribution. It also does not demonstrate that SSA acts as a germicide; direct microbial measurements would be needed to support that mechanism.

A 2026 study of cv. 'White Prosperity' reported 13.4 days of vase life after pulsing with 10% sucrose plus 150 ppm SA, compared with 6.2 days in untreated spikes (Suman et al., 2026). The study also reported improvements in several floret and water-uptake measures. These are meaningful cultivar-specific findings, but the treatment combines a high sucrose concentration with SA and uses a pulsing method. A factorial comparison of SA alone, sucrose alone, and their combination would be needed to determine whether the combined response is additive or interactive.

SA and SSA warrant further testing as physiological regulators, with careful separation of dose, application timing, and accompanying carbohydrates. Claims about antimicrobial action, environmental safety, or superiority to conventional preservatives require direct evidence and should not be inferred from vase-life improvement alone.

2.5. Plant-derived alternatives

Plant extracts and essential oils are being evaluated as possible sources of antimicrobial or antioxidant activity in vase solutions. Their composition can vary with species, plant part, extraction procedure, storage, and formulation. Oils may also require an emulsifier, and the carrier itself can affect flower response. Consequently, 'natural' describes origin; it does not by itself establish safety, consistent performance, or environmental advantage.

A 2021 study compared 2% and 4% holding solutions prepared from Moringa oleifera, Mentha piperita, and Calotropis procera leaf extracts. Calotropis procera leaf extract at 2% produced a reported vase life of 14.50 days, 64% open florets, and 40% relative fresh weight, exceeding the other extracts under those experimental conditions (Akhtar et al., 2021). This result supports further study of aqueous leaf extracts but should not be interpreted as proof that all plant extracts share the same mechanism or efficacy.

Essential-oil studies show both promise and dose dependence. In cv. 'Sorati', savory, ajowan, and thyme oils were tested, and 2 mg L^{-1} savory oil was reported to reduce dehydration and improve water absorption and flower weight relative to the other tested oil treatments (Mirdehghan & Aghamolaei, 2016). In gladiolus, lemongrass essential oil at 5 µL L^{-1} extended vase life to 11 days compared with distilled water and was associated with lower bacterial

counts in stem tissues (Thakur et al., 2023). Higher concentrations were also tested, emphasizing that the most effective dose need not be the highest dose.

Moussa et al. (2024) evaluated sage and rosemary essential oils at 0, 50, 100, 150, and 200 mg L^{-1}. The authors reported vase-life increases of 88.16% with 150 mg L^{-1} sage oil and 84.76% with 100 mg L^{-1} rosemary oil relative to untreated spikes; the treatments also improved measured water uptake and floret-opening outcomes. These percentage changes apply to that study's conditions and controls and should not be compared directly with absolute vase-life days reported in other cultivars or experiments.

Plant-based treatments should be compared with standard controls using clear descriptions of extraction, active concentration, pH, emulsifier, microbial load, and phytotoxicity. Long-term handling and disposal also matter. Such evidence is needed before a candidate treatment can be described as a practical substitute for conventional preservatives.

3. CONCLUSION

Overall, the available gladiolus studies indicate that vase-solution performance depends on the functions and balance of its components. Carbohydrates can supply an external carbon source, antimicrobial preservatives can limit microbial proliferation, acidifiers can modify solution chemistry, and salicylic acid or sulfosalicylic acid may affect physiological processes associated with senescence. Plant-derived products may influence more than one process, but their mechanisms and practical value require direct confirmation. Although combined formulations often perform well, improved outcomes alone do not demonstrate synergy or identify the contribution of each ingredient.

The evidence also shows that vase-life results are specific to cultivar, harvest stage, environment, application method, solution renewal, and the criteria used to define vase life. These differences limit direct comparisons among studies and prevent a single formulation from being recommended for all gladiolus cultivars. Future research should use factorial designs that compare individual ingredients with their combinations and report treatment concentrations, pulse or holding duration, solution pH, water uptake and loss, fresh mass, floret opening, microbial population, and relevant physiological indicators. Such standardized trials are needed to develop reliable, commercially applicable recommendations.

REFERENCES

Akhtar, G., Rajwana, I. A., Sajjad, Y., Shehzad, M. A., Amin, M., Razzaq, K., et al. (2021). Do natural leaf extracts involve regulation at physiological and biochemical levels to extend vase life of gladiolus cut flowers? Scientia Horticulturae, 282, 110042. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110042

Angel, Y., & Kumar, A. V. (2021). Effect of floral preservatives on post-harvest life of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) cv. American Beauty. International Journal of Plant & Soil Science, 33(11), 16–20. https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i1130476

Casares, M. C., Mattiuz, B.-H., Muniz, A. C., & Mattiuz, C. (2017). Potential use of germicides in vase solutions for gladiolus 'White Friendship'. Ornamental Horticulture, 23(1), 79–87. https://doi.org/10.14295/oh.v23i1.1002

Choudhury, B. B., & Patra, S. K. (2025). Prolonging vase life of gladiolus (Gladiolus grandiflorus L.) var. Arka Amar with various preservative solutions. Agricultural Science Digest, 45(2), 323–327. https://doi.org/10.18805/ag.D-5710

David, F., Singh, A. K., & Sisodia, A. (2026). Effect of different concentrations of silver nitrate and aluminium sulphate on the postharvest parameters of gladiolus cv. Priscilla. Journal of Eco-Friendly Agriculture, 21(1), 155–158. https://doi.org/10.48165/jefa.2026.21.1.30

Ejaz, S., Abid, R., Ali, S., & Canan, İ. (2024). Enhancing vase life of gladiolus cut flowers with

8-HQS as biocidal agent in vase solution. Journal of Horticultural Science and Technology, 7(3), 80–84. https://doi.org/10.46653/jhst24073080

Jain, R., Kumar, P., Swaroop, K., & Pinder, R. (2017). Standardization of pulsing treatments for improving the vase life of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.). Chemical Science Review and Letters, 6(21), 484–488.

Jain, R., Kumar, P., Singh, B., Hiremath, V. M., Tiwari, A. K., & Sindhu, S. S. (2021). Efficacy of 5-sulpho salicylic acid to improve vase life of gladiolus. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 91(12), 1793–1795. https://doi.org/10.56093/ijas.v91i12.120809

Khan, A., Ahmad, M., Arif, M., Ali, H., Jabin, S., Awan, M. T., Khattak, M. R., Khalil, I., Razaullah, S., Sufyan, A., Khan, Z., & Abbas, M. (2024). Influence of sucrose and silver nitrate to ameliorate post harvest performance of gladiolus spikes. *Indus Journal of Bioscience Research, 2*(2), 1321–1328. https://doi.org/10.70749/ijbr.v2i02.342 researchgate.net

Koirala, P., Neupane, R. R., Dura, B., Poudel, P. R., & Pathak, R. (2023). Study on the effect of different chemicals and essential oils on the vase life of gladiolus (var. American Beauty) cut flower. Syrian Journal of Agricultural Research, 10(1), 86–100. https://agri-research-journal.net/SjarEn/wp-content/uploads/v10n1p8-1.pdf

Kumar, M., Kumar, R., Singh, A., Pal, V., Kaushik, K., Shukla, D., & Kumar, M. (2025). Effect of sources of nutrients, corm priming with coconut water and eco-friendly floral preservatives on postharvest quality of gladiolus (Gladiolus hybridus Hort.) cv. Pusa Chandni. Journal of Advances in Biology & Biotechnology, 28(6), 1201–1209. https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i62477

Li, X., Liu, Q., Li, H., Chen, Y., Chen, Z., He, S., Liu, J., & Yan, S. (2025). Pretreatment with nano-silver extends the post-harvest longevity of gladiolus cut flowers by reducing free water mobility. Horticultural Plant Journal, 11(1), 377–388. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.03.010

Maity, T. R., Samanta, A., Saha, B., & Datta, S. (2019). Evaluation of Piper betle-mediated silver nanoparticle in post-harvest physiology in relation to vase life of cut spike of gladiolus. Bulletin of the National Research Centre, 43, Article 9. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0051-8

Majumder, J., & Sharangi, A. B. (2024). Advances in Postharvest Technology of Flowers, Medicinal, and Aromatic Herbs. In *Recent Advances in Postharvest Technologies, Volume 2: Postharvest Applications* (pp. 247-276). Cham: Springer Nature Switzerland.

Mirdehghan, S. H., & Aghamolaei, Z. (2016). Application of various concentrations of essential oils of savory, ajowan and thyme to maintain quality and shelf life of gladiolus cut flower. International Journal of Horticultural Science and Technology, 3(1), 33–41. https://doi.org/10.22059/ijhst.2016.58159

Moussa, M. M., Mazrou, R. M., & Hassan, F. A. S. (2024). How sage and rosemary essential oils regulate postharvest senescence and extend the vase life of cut gladiolus spikes. Horticulturae, 10(6), 638. https://doi.org/10.3390/horticulturae10060638

Nguyen, T. K., & Lim, J. H. (2021). Do eco-friendly floral preservative solutions prolong vase life better than chemical solutions?. *Horticulturae*, *7*(10), 415. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100415

Rahmani, I., Ahmadi, N., Ghanati, F., & Sadeghi, M. (2015). Effects of salicylic acid applied pre- or post-transport on post-harvest characteristics and antioxidant enzyme activity of gladiolus cut flower spikes. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 43(4), 294–305. https://doi.org/10.1080/01140671.2015.1096799

Sarje, R. A., Abhangrao, A. K., Jayakumar, S., Gupta, R., Pathania, S., & Sree, B. V. (2024).

Effect of pre and postharvest factors on vase life of gladiolus or effect of different floral preservatives on vase life of gladiolus. International Journal of Plant & Soil Science, 36(7), 297–303. https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i74733

Singh, A., Bharti, N., & Gupta, S. D. (2025). Studies on post-harvest life of gladiolus under different vase solutions. International Journal of Horticulture and Food Science, 7(4), 27–29. https://doi.org/10.33545/26631067.2025.v7.i4a.286

Sowjanya, A., Kaladhar Babu, K., & Praneeth Kumar, P. S. (2022). Influence of commonly available food sources on extension of vase life of gladiolus (Gladiolus grandiflorus L.) cv. Swarnima. International Journal of Environment and Climate Change, 12(10), 729–736. https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030857

Suman, V., Nagar, K. K., Sharma, D., Sharma, A., Jangid, M. K., Yadav, M. K., & Bansal, R. K. (2026). Effect of sucrose and salicylic acid on extension of vase life of gladiolus (Gladiolus hybridus Hort.) cv. White Prosperity. Journal of Experimental Agriculture International, 48(7), 354–363. https://doi.org/10.9734/jeai/2026/v48i74337

Thakur, M., Verma, V., Chandel, A., Kumar, R., Sharma, T., Kumar, A., Bhardwaj, S., Kumar, R., & Bhargava, B. (2023). Lemon grass essential oil improves Gladiolus grandiflorus postharvest life by modulating water relations, microbial growth, biochemical activity, and gene expression. Scientific Reports, 13, 2630. https://doi.org/10.1038/s41598-023-28829-0

Uddin, A. F. M. J., Shamsuzzoha, M., Nusrat, A., Taufique, T., & Mehraj, H. (2016). Vase life improvement of yellow gladiolus through different preservative solutions. Journal of Bioscience and Agriculture Research, 10(1), 837–842. https://doi.org/10.18801/jbar.100116.101

AKRAN ZORBALIĞININ GÜNCEL YAYGINLIĞI

Esma Nur BARAKLI
Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Yüksek Lisans Programı, Konya, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-2280-0327
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği AD., Konya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X

ÖZET
Sağlık ve eğitim sistemlerinde önemli bir yer tutan akran zorbalığı, çocuk ve ergenlerin psikososyal ve fiziksel sağlığını tehlikeye atan ciddi bir halk sağlığı problemidir. Teknolojinin hızlı gelişimi ve sosyal yapıların değişimiyle birlikte akran zorbalığı yalnızca geleneksel boyutlarıyla değil, siber zorbalık ve yapay zekâ destekli (deepfake vb.) yeni tehditlerle de görünüm değiştirerek sürmektedir. Bu derlemenin amacı, çocuk ve ergenlerde akran zorbalığının yaygınlığını ve değişen türlerini incelemek ve hemşirelerin önleyici rolünü tartışmaktır. Çalışmada Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması (TIMSS), Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve UNESCO raporları ile ulusal ve uluslararası literatür, anlatı derleme yaklaşımıyla sentezlenmiştir. İncelenen kaynaklarda 11–15 yaş aralığındaki her üç öğrenciden birinin okulda zorbalık yaşadığı bildirilmekte; yaygınlık tahminlerinin çalışmalar arasında yaklaşık %5 ile %65 arasında değiştiği ve bunun bir bölümünün ölçüm farklılıklarından kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Türkiye'de yapılan bir çalışmada öğrencilerin üçte birinin (%33) geleneksel zorbalığa maruz kaldığı, başka bir çalışmada ise lise öğrencilerinde akran zorbalığı davranışlarının görülme oranının %15,3 olduğu bildirilmiştir. Bir çalışmada ergenlerin %47'sinin siber zorbalık sürecinde zorba, mağdur veya zorba-mağdur rollerinden birinde yer aldığı belirlenmiştir. Sözel ve ilişkisel zorbalık birçok örneklemde öne çıkarken, WHO/Europe verilerine göre 2018–2022 döneminde siber zorbalık artmış, okul içi geleneksel zorbalık ise genel olarak durağan kalmıştır. Sonuç olarak akran zorbalığı çok boyutlu bir tehdit olarak varlığını korumaktadır. Risk gruplarının erken dönemde tanılanması, okul temelli önleyici programların uygulanması ve koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında hemşirelerin aktif rol alması zorbalığın yaygınlığını azaltmada önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Akran zorbalığı, yaygınlık, çocuk sağlığı, siber zorbalık, okul hemşireliği

CURRENT PREVALENCE OF PEER BULLYING

ABSTRACT
Peer bullying is a major public health concern that occupies a significant place in healthcare and education systems and threatens the psychosocial and physical well-being of children and adolescents. With rapid technological advances and changing social dynamics, peer bullying continues not only in traditional forms but also in emerging forms, including cyberbullying and AI-enabled bullying involving deepfakes. This narrative review aims to examine the prevalence and evolving forms of peer bullying among children and adolescents and to discuss the

preventive role of nurses. Reports from the Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS), the Programme for International Student Assessment (PISA), the World Health Organization (WHO), and UNESCO were synthesized together with national and international literature. The reviewed sources indicate that approximately one in three students aged 11–15 experiences bullying at school, and that prevalence estimates vary widely across studies, from approximately 5% to 65%, which may partly reflect differences in measurement. In Türkiye, one study reported that about one-third (33%) of students experienced traditional bullying, while another reported a 15.3% rate of peer bullying behaviors among high school students. One study found that 47% of adolescents were involved in cyberbullying as perpetrators, victims, or bully-victims. Verbal and relational bullying were prominent in many samples; according to WHO/Europe data, cyberbullying increased between 2018 and 2022, whereas traditional school bullying remained largely stable. In conclusion, peer bullying remains a multifaceted threat to child and adolescent health. Early identification of at-risk groups, implementation of school-based prevention programs, and active involvement of nurses in preventive healthcare services are important for reducing the prevalence of peer bullying.
Keywords: Peer bullying, prevalence, child health, cyberbullying, school nursing

1. GİRİŞ

Akran zorbalığı, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2019) raporunda çocuk ve ergenlerin psikososyal sağlığını tehlikeye atan ciddi bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization [WHO], 2022) de çocuklara yönelik zorbalığı önemli bir halk sağlığı problemi olarak tanımlamaktadır. Zorbalık, güç dengesizliğiyle ortaya çıkan ve tekrar tekrar zarar vermenin amaçlandığı bir davranış biçimidir (Olweus, 1993; Gürhan, 2017). Zorbalığın etkileri yalnızca bireyle sınırlı kalmaz; bireyin sosyal ilişkilerini, akademik başarısını ve içinde bulunduğu okul ortamını da etkiler (Avşar ve Ayaz Alkaya, 2018).

Önceki çalışmalarda zorbalığa maruz kalma tahminlerinin yaklaşık %5 ile %65 arasında değiştiği bildirilmiş (Jadambaa ve ark., 2019, akt. Thornton ve ark., 2025) ve bu farklılığın bir bölümünün ölçüm tercihlerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Thornton ve ark., 2025). Türkiye'de yapılan bir çalışmada öğrencilerin yaklaşık üçte birinin (%33) geleneksel zorbalığa maruz kaldığı tespit edilmiştir (Eyüboğlu ve ark., 2021). Zorbalığın tüm dünyayı etkileyen ciddi bir sorun olduğu UNESCO (2019) ve Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2019) raporlarında da görülmektedir. Siber zorbalık gibi teknolojiyle ilişkili türlerin yaygınlaşması sorunla mücadeleyi güçleştirmekte ve kişi ile kurumların yeni yöntemler geliştirmesini gerektirmektedir (Aboujaoude ve ark., 2015; Uludaşdemir ve Küçük, 2019). Bu nedenle okul temelli önleyici programların geliştirilmesi ve hemşirelerin bu süreçte aktif rol alması, çocukların ve ergenlerin zorbalıktan korunması ve desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (Ortega-Barón ve ark., 2019; Uysal Toraman ve ark., 2021).

Ancak farklı kurum ve araştırmalar farklı tanım, yaş grubu ve ölçüm yöntemleri kullandığından, yaygınlık verileri bir arada değerlendirildiğinde karşılaştırma güçleşmektedir. Bu çalışmanın amacı, güncel ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda akran zorbalığının yaygınlığını ortaya koymak; geleneksel ve dijital zorbalık biçimlerini, zorbalık rollerini ve yaygınlık bulgularındaki farklılıkları incelemek ve hemşirelerin koruma düzeylerine göre önleyici rollerini tartışmaktır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Araştırma Yöntemi

Bu çalışmada akran zorbalığının yaygınlığını incelemek amacıyla literatüre dayalı anlatı derlemesi yaklaşımından yararlanılmıştır. İnceleme kapsamında Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması (TIMSS), Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA), WHO ve UNESCO raporları ile akran zorbalığına ilişkin ulusal ve uluslararası bilimsel yayınlar ele alınmıştır. Kaynaklarda yer alan bulgular; akran zorbalığının yaygınlığı, geleneksel ve dijital zorbalık biçimleri, zorbalık rolleri, sağlık sonuçları ve risk faktörleri ile zorbalığın önlenmesinde hemşirelerin rolleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler betimsel olarak bir araya getirilmiş ve bu başlıklar altında yorumlanmıştır. Çalışmada yeni veri toplanmamış, mevcut bilimsel yayınlar ve kurumsal raporlarda sunulan bulgulardan yararlanılmıştır. Literatür taraması Google Scholar, DergiPark ve diğer çevrim içi akademik kaynaklar üzerinden yapılmış; taramada "peer bullying", "peer bullying frequencies" ve "peer bullying and nurse" anahtar sözcükleri kullanılmıştır. Tarama 2015 yılı ve sonrasında yayımlanan çalışmalarla sınırlandırılmış, yalnızca zorbalık tanımına ilişkin temel kaynak olarak Olweus (1993) ayrıca kullanılmıştır. TIMSS, PISA, WHO ve UNESCO raporlarına ilgili kurumların internet sitelerinden ulaşılmıştır. Türkçe ve İngilizce yayınlar değerlendirilmiş; çocuk ve ergenlerde akran zorbalığının yaygınlığını, türlerini, sağlık sonuçlarını ve hemşirelik rolünü ele alan çalışmalar esas alınmış, karşılaştırma amacıyla üniversite öğrencileriyle yürütülen iki çalışmaya da yer verilmiştir (Pörhölä ve ark., 2020; Haylı ve Çırak, 2023). Siber zorbalık ve yapay zekâ destekli zorbalık (deepfake) konularında ilgili kavramsal ve güncel çalışmalara ayrıca yer verilmiştir. Konuyla doğrudan ilgili olmayan yayınlar kapsam dışında bırakılmıştır. Sonuçta 24 makale, beş kurumsal rapor ve bir kitap olmak üzere toplam 30 kaynak değerlendirilmiştir.

2.2. Zorbalığın Tanımı ve Kapsamı

Zorbalık, güç dengesizliğiyle ortaya çıkan, kasıtlı olarak tekrar tekrar uygulanan bir saldırganlık biçimidir (Olweus, 1993; Gürhan, 2017). Zorbalığın temelinde, güçlü olanın fiziksel, zihinsel veya sosyal üstünlüğü kullanarak psikolojik zarar verme niyeti vardır (Gürhan, 2017). Özellikle okul ortamlarında karşılaşılan akran zorbalığı, mağdurlarda önemli fiziksel ve psikolojik hasarlar bırakabilmektedir (Avşar ve Ayaz Alkaya, 2018). Zorbalık; kişinin gruptan izole edilmesi, hakkında onur kırıcı dedikodular yayılması, sözlü taciz ve bedensel şiddet uygulanması gibi farklı biçimlerde ortaya çıkabilmektedir (Fisher ve ark., 2017). Dolayısıyla akran zorbalığı karmaşık ve çok boyutlu bir problemdir (Gürhan, 2017).

Akran zorbalığı, yalnızca bireysel davranışlar ve demografik özelliklerle değil, öğrencilerin akran grupları içerisindeki sosyal konumlarıyla da ilişkili olabilir. Wiertsema ve ark. (2023) tarafından yapılan meta-analizde, zorbalık davranışında bulunan öğrencilerin zorbalık yapmayan akranlarına kıyasla daha popüler algılanabildikleri belirlenmiştir. Bu sonuç, zorbalığın akran grubu içerisindeki sosyal statü ve ilişkiler bağlamında da değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

2.3. Akran Zorbalığının Görülme Sıklığı

Akran zorbalığı hem Türkiye'de hem de dünyada önemli bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmaktadır. Sorunun küresel boyutu, Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması (TIMSS) (Mullis ve ark., 2020), Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA) (OECD, 2019) ve UNESCO'nun (2019) zorbalığa ilişkin raporlarında ortaya konulmaktadır.

PISA 2018 sonuçlarına göre, 15 yaşındaki öğrencilerin yaklaşık %23'ü ayda en az birkaç kez zorbalığa maruz kaldığını bildirmiştir. Zorbalık deneyimleri arasında öğrencilerin %14'ünün alay edilme, %10'unun haklarında olumsuz söylentiler yayılması ve %9'unun kasıtlı olarak

dışlanma gibi davranışlarla karşılaştığı belirtilmiştir (OECD, 2019). UNESCO'nun (2019) raporunda ise 11–15 yaş aralığındaki her üç öğrenciden birinin son bir ay içerisinde okulda en az bir kez zorbalık deneyimlediği bildirilmiştir. Bu iki kaynakta zorbalığa maruz kalma sıklığı farklı ölçütlerle (ayda birkaç kez ve ayda en az bir kez) tanımlandığından, bildirilen oranlar doğrudan karşılaştırılmamalıdır. Yaygınlık tahminlerinin yaklaşık %5 ile %65 arasında geniş bir aralıkta değiştiği ve bunun bir bölümünün ölçüm farklılıklarından kaynaklanabileceği belirtilmektedir (Jadambaa ve ark., 2019, akt. Thornton ve ark., 2025). Zorbalık davranışlarının ortaokul döneminde artış gösterdiği, lise döneminde ise azaldığı ifade edilmektedir (Gürhan, 2017).

Akran zorbalığının yaygınlığı ve biçimleri, kültürel bağlama ve eğitim ortamına göre farklılık gösterebilmektedir. Pörhölä ve ark. (2020) dört ülkede üniversite öğrencileriyle yürüttükleri araştırmada, zorbalığa maruz kalma ve zorbalık yapma düzeylerinin ülkeler arasında farklılaştığını belirlemiştir. Araştırmada en sık bildirilen zorbalık biçimi sözel zorbalık olmuş, fiziksel zarar verme davranışları ise daha az bildirilmiştir. Teknoloji aracılığıyla gerçekleştirilen hakaret ve tacize maruz kalma oranlarının da ülkeler arasında değiştiği; ayrıca sosyal dışlanma ve akran ilişkilerine zarar verme deneyimlerinin cinsiyete göre farklılaşabildiği bildirilmiştir (Pörhölä ve ark., 2020). Bu çalışma üniversite öğrencilerini kapsadığından, çocuk ve ergenlere ilişkin bulguları tamamlayıcı nitelikte değerlendirilmelidir.

Türkiye'de gerçekleştirilen araştırmalar, akran zorbalığı ve siber zorbalığın ergenler arasında dikkate alınması gereken sorunlar olduğunu göstermektedir. Eyüboğlu ve ark. (2021) geleneksel zorbalığa maruz kalma oranını %33, siber mağduriyet oranını %17 olarak bildirmiştir. Seyhan Şahin ve Ayaz Alkaya'nın (2023) 14–17 yaş aralığındaki 1.548 lise öğrencisiyle yürüttüğü araştırmada ise akran zorbalığı davranışlarının görülme oranı %15,3, siber zorbalık davranışlarının görülme oranı %15,2 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar arasındaki farkın örneklem, yaş grubu, ölçüm aracı ve zorbalığın tanımlanma biçimiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

2.4. Akran Zorbalığının Türlerine Göre Görülme Sıklıkları

Akran zorbalığının türlere göre yaygınlığı incelendiğinde, sözel zorbalığın birçok araştırmada öne çıktığı, ancak türlerin görülme sıklığının örneklemin özelliklerine ve kullanılan ölçüm yöntemlerine göre değişebildiği görülmektedir. Türkiye'de bir il merkezindeki ortaokullarda 1.288 öğrenciyle yürütülen bir çalışmada, öğrencilerin %52,1'inin sözel, %13,4'ünün fiziksel zorbalığa maruz kaldığı bildirilmiştir (Çalışkan ve ark., 2019). Çocuk psikiyatrisi polikliniğine başvuran 61 ergenle (11–18 yaş) yürütülen bir çalışmada sözel zorbalık en sık görülen zorbalık türü (%37,7) olmuş, alternatif sınıflandırmayla ergenlerin %78,7'sinin zorba/mağdur döngüsünde yer aldığı saptanmıştır (Çelen ve ark., 2020). Bu oranın Türkiye'deki toplum temelli çalışmalara kıyasla belirgin biçimde yüksek, ancak klinik bir örneklem için beklenen bir bulgudur (Çak Esen, 2020). Türkiye'de 10–17 yaş grubundaki çocuk ve ergenlerle yürütülen güncel bir araştırmada ise sözel zorbalık %33,9 oranında bulunmuş ve incelenen zorbalık türleri arasında öne çıkmıştır (Güzeloğlu ve ark., 2026).

Bununla birlikte, zorbalık türlerinin yaygınlığı farklı araştırmalarda değişiklik gösterebilmektedir. İngiltere'de 12–15 yaş grubundaki 35.825 öğrenciyi kapsayan araştırmada, ilişkisel zorbalığa maruz kalmanın fiziksel ve siber zorbalığa maruz kalmaya kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu; en az bir alanda zorbalığa maruz kalma oranının ise %15,56 olduğu görülmüştür (Thornton ve ark., 2025). Geleneksel zorbalık biçimlerinin yanı sıra siber zorbalık da günümüzde dikkat çeken bir sorun hâline gelmiştir. WHO Avrupa Bölge Ofisi'nin (World Health Organization Regional Office for Europe [WHO/Europe], 2024) 44 ülke ve bölgeden yaklaşık 279.000 ergeni (11, 13 ve 15 yaş) kapsayan araştırmasında, okulda zorbalığa maruz

kalma oranı yaklaşık %11 (ayda en az iki-üç kez) olarak bildirilmiştir. Aynı araştırmada siber zorbalığa maruz kalma oranı yaklaşık altıda bir (yaklaşık %16) olup 2018'deki yaklaşık %13'e kıyasla artmış; siber zorbalık yapma oranı da 2018–2022 döneminde yükselmiştir. Okul ortamındaki geleneksel zorbalık oranları ise bu dönemde genel olarak durağan seyretmiştir (WHO/Europe, 2024). Bu bulgular, sözel zorbalığın birçok örneklemde öne çıkmasına karşın zorbalık türlerinin yaygınlığının yaş grubu, araştırma bağlamı ve zaman içindeki değişimler dikkate alınarak birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Metinde ele alınan yaygınlık bulguları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Metinde ele alınan yaygınlık bulgularının özeti

Kaynak	Ülke / örneklem	Yaş	Bildirilen bulgu
UNESCO (2019)	Küresel rapor	11–15	Son bir ayda okulda en az bir kez zorbalığa maruz kalma: her üç öğrenciden biri
OECD (2019), PISA 2018	OECD ülkeleri	15	Ayda en az birkaç kez zorbalığa maruz kalma: yaklaşık %23 (alay edilme %14, olumsuz söylenti %10, kasıtlı dışlanma %9)
WHO/Europe (2024), HBSC 2021/22	44 ülke ve bölge, yaklaşık 279.000 ergen	11, 13, 15	Okulda zorbalığa maruz kalma yaklaşık %11 (ayda en az 2–3 kez); siber mağduriyet yaklaşık %16 (2018'de %13); başkalarına siber zorbalık yapma yaklaşık %12
Çalışkan ve ark. (2019)	Türkiye, il merkezi, 1.288 ortaokul öğrencisi	ort. 12,8	Zorbalık yapma %12,0; zorbalığa maruz kalma %15,9; sözel zorbalığa maruz kalma %52,1; fiziksel zorbalığa maruz kalma %13,4
Eyüboğlu ve ark. (2021)	Türkiye (Eskişehir)	Okul temelli	Geleneksel zorbalığa maruz kalma %33, siber mağduriyet %17; geleneksel zorbalık yapma %22,4, siber zorbalık yapma %10,4
Seyhan Şahin ve Ayaz Alkaya (2023)	Türkiye, 1.548 lise öğrencisi	14–17	Akran zorbalığı davranışı %15,3; siber zorbalık davranışı %15,2
Güzeloğlu ve ark. (2026)	Türkiye	10–17	Sözel zorbalık %33,9
Silva ve ark. (2020)	Brezilya, 1.402 lise öğrencisi	–	Zorbalığa maruz kalan %8,35; zorbalık yapan %21,26; her iki grupta yer alan %2
Thornton ve ark. (2025)	İngiltere, 35.825 öğrenci	12–15	En az bir alanda zorbalığa maruz kalma %15,56; ilişkisel zorbalığa maruz kalma, fiziksel ve siber zorbalığa kıyasla yaklaşık iki kat
Rajba ve Głowacki (2025)	Polonya, 192 öğrenci (pilot, temsili değil)	12–15	Yapay zekâ ile alay amaçlı içerik üretilen bir durumla karşılaşma veya mağdur olma %38,5
Haylı ve Çırak (2023)	Türkiye, 952 üniversite öğrencisi	–	Siber zorbalık sürecine zorba, mağdur veya zorba-mağdur olarak dahil olma %47

Not. Çalışmalar farklı tanım, ölçüm aracı, zaman aralığı ve örneklem kullandığından oranlar doğrudan karşılaştırılmamalıdır. "–": metinde belirtilmemiştir.

2.5. Geleneksel Zorbalıktan Siber Zorbalığa: Değişen Zorbalık Biçimleri

Siber zorbalık, geleneksel zorbalık kalıplarının dijital teknolojilerdeki ilerlemeler doğrultusunda dönüşmüş halini ifade etmektedir (Aboujaoude ve ark., 2015; Gürhan, 2017). Günümüzde çocuk ve ergenlerin akıllı cihazlar aracılığıyla yoğun bir şekilde internete erişim

sağlaması, zorbaların mağdurlarla aralarındaki fiziksel mesafeyi dijital ortamda kolayca ortadan kaldırmasına zemin hazırlamaktadır (Uludaşdemir ve Küçük, 2019). Bu durum, siber zorbalığın geleneksel türlerden farklı olarak zaman ve mekân sınırlaması olmaksızın sürdürülebildiğini ortaya koymaktadır (Uludaşdemir ve Küçük, 2019). Ayrıca siber zorbalık eylemlerinin tespit edilmesi, tanımlanması ve durdurulması geleneksel zorbalığa kıyasla daha güç olabilmekte, bu da mağdurlar üzerinde daha ağır sonuçlar doğurabilmektedir (Gürhan, 2017). Siber zorbalığın ergenlerde internet bağımlılığı ve depresyonla ilişkili olabildiği de bildirilmektedir (Chang ve ark., 2015).

2.6. Yapay Zekâ Destekli Zorbalık: Deepfake

Siber zorbalığın son dönemde dikkat çeken yeni boyutlarından biri, yapay zekâ teknolojileriyle ortaya çıkan *deepfake* zorbalığıdır (Westerlund, 2019). "Derin öğrenme" ve "sahte" kavramlarının birleşiminden oluşan bu teknoloji, kişilerin ses, yüz ve jest gibi karakteristik özelliklerini yapay zekâ algoritmalarıyla işleyerek yaşanmamış olayları yaşanmış gibi gösteren gerçekçi dijital içerikler üretmektedir (Westerlund, 2019). Tolosana ve ark. (2020) tarafından da belirtildiği üzere, teknik bir uzmanlığa gerek duyulmadan kısa sürede gerçekçi sahte içerikler üretilebilmesi, bu durumu yaygın ve ciddi bir tehdit hâline getirmektedir.

Bu alandaki araştırmalar henüz sınırlı olmakla birlikte, tehdidin boyutuna ilişkin ilk veriler sunmaktadır. Polonya'da yedinci ve sekizinci sınıfa devam eden 192 öğrenciyle (12–15 yaş) yürütülen bir pilot çalışmada, öğrencilerin %38,5'i yapay zekâ ile alay etme veya aşağılama amacıyla içerik üretilen bir durumla karşılaştığını ya da bunun mağduru olduğunu bildirmiştir. Öğrenciler, yapay zekânın mevcut fotoğrafları değiştirmek (%30,2), kısa video veya animasyon üretmek (%17,7), yeni görüntü oluşturmak (%15,6) ve mağdurun sesini taklit eden ses kaydı oluşturmak (%15,1) için kullanıldığını belirtmiştir. Öğrencilerin yalnızca %37,5'i bu tür içerikleri ayırt edebileceğini düşünmektedir (Rajba ve Głowacki, 2025). Yazarlar örneklemin küçük ve temsil niteliğinde olmadığını vurguladığından bu bulgular genellenmemeli, konunun farklı toplumlarda ve daha geniş örneklemlerle incelenmesine ihtiyaç duyulduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

2.7. Siber Zorbalıkta Rollerin Dağılımı

Siber zorbalık sürecindeki rollerin dağılımına bakıldığında, katılımcıların önemli bir bölümünün sürece aktif olarak dahil olduğu anlaşılmaktadır. Haylı ve Çırak (2023) tarafından, üniversite öğrencilerinden oluşan 952 kişilik bir örneklemle yürütülen çalışmada, katılımcıların %47'sinin siber zorbalık sürecine zorba, mağdur veya zorba-mağdur olarak dahil olduğu, %53'ünün ise sürece dahil olmadığı bildirilmiştir. Katılımcıların %7'si yalnızca siber zorba, %17'si yalnızca siber mağdur, %23'ü ise hem zorba hem mağdur olarak belirlenmiştir. Sürece dahil olan öğrenciler içinde en büyük grubu zorba-mağdurlar oluşturmaktadır. Siber mağdur olan öğrencilerin toplamı %40 olup (%17 + %23), bunların yarıdan fazlasının (%23) aynı zamanda zorbalık yaptığı görülmektedir. Bu bulgu, mağduriyet yaşayan öğrencilerin zorbalık açısından da riskli bir grup oluşturabileceğine işaret etmektedir. Ancak bulgu tek bir örnekleme dayanmakta ve üniversite öğrencilerini kapsamaktadır; bu nedenle çocuk ve ergen popülasyonuna doğrudan genellenmemelidir.

2.8. Akran Zorbalığının Sağlık ve Psikososyal Sonuçları

Akran zorbalığı, mağdurlarda fiziksel ve psikolojik hasarlara, akademik başarıda ve sosyal ilişkilerde olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Avşar ve Ayaz Alkaya, 2018; Fisher ve ark., 2017). Türkiye'de yürütülen bir çalışmada, zorbalığa mağdur, zorba veya her iki rolde dahil olmanın kaygı, depresyon, psikososyal güçlükler ve kendine zarar verme davranışıyla ilişkili olduğu; ruh sağlığı sonuçlarından kız öğrencilerin daha fazla etkilendiği bildirilmiştir (Eyüboğlu ve ark., 2021). Useche ve ark. (2023) da zorbalık deneyimleriyle ilişkili belirti

düzeylerinin kız öğrencilerde daha yüksek olduğunu saptamıştır. İngiltere'de 35.825 ergenle yürütülen bir çalışmada da zorbalığa maruz kalmanın içselleştirme belirtileri açısından yaklaşık 3,9 kat daha yüksek olasılıkla ilişkili olduğu (ana modelde OR ≈ 3,92) bildirilmiştir (Thornton ve ark., 2025). Bu bulgular, zorbalığın yalnızca bir okul disiplini sorunu olarak değil, çocuk ve ergen ruh sağlığını etkileyen bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

2.9. Cinsiyet Farklılıkları ve Diğer Risk Faktörleri

Zorbalığa maruz kalma ve zorbalık yapma durumlarının cinsiyete göre farklılaşabildiği, farklı ülkelerde yürütülen araştırmalarda da ortaya konulmuştur. Türkiye'de Seyhan Şahin ve Ayaz Alkaya (2023), İspanya'da Useche ve ark. (2023) ve Brezilya'da Silva ve ark. (2020) tarafından yürütülen araştırmalarda, erkek öğrencilerin zorbalık yapma davranışlarına katılımının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, zorbalığa maruz kalma açısından benzer sonuçlar elde edilmemiştir. Silva ve ark. (2020) zorbalığa maruz kalmayı kız öğrencilerle ilişkili bulurken, Useche ve ark. (2023) erkek öğrencilerin zorbalığa maruz kalma düzeylerinin daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Silva ve ark.'nın (2020) çalışmasında ayrıca öğrencilerin %8,35'inin zorbalığa maruz kaldığı, %21,26'sının zorbalık yaptığı ve %2'sinin her iki grupta da yer aldığı bildirilmiştir. Güzeloğlu ve ark. (2026) ise Türkiye'de çocuk ve ergenlerde zorbalık örüntülerini incelerken beden kitle indeksi ve sosyoekonomik faktörlerin rolünü ele almıştır. Bu bulgular, zorbalığın yaygınlığının yanı sıra zorbalığa maruz kalma ve zorbalık yapma rollerinin ve bu deneyimlerin cinsiyet ile sosyodemografik özelliklere göre farklılaşmasının da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

2.10. Akran Zorbalığının Önlenmesinde Hemşirelerin Koruma Düzeylerine Göre Rolleri

Akran zorbalığı yalnızca okul ortamıyla sınırlı kalmayan ve çocukların fiziksel, psikolojik ve sosyal sağlığını etkileyen önemli bir sorundur. Okul sağlığı hemşiresinin akran zorbalığının önlenmesindeki rolü ulusal literatürde vurgulanmaktadır (Avşar ve Ayaz Alkaya, 2018). Hemşirelerin akran zorbalığını önlemedeki ve etkilerini azaltmadaki rolleri birincil, ikincil ve üçüncül koruma düzeylerinde ele alınabilir (Demir ve Küçük, 2020).

Birincil koruma düzeyinde hemşireler, akran zorbalığına ilişkin güncel bilgiye sahip olmalı; öğrencilere, ailelere ve okul personeline yönelik farkındalık eğitimleri düzenlemeli, sosyal becerileri geliştiren çalışmalara ve okul politikalarının oluşturulmasına katkı sağlamalıdır. Okul temelli programların geleneksel zorbalık ve siber zorbalık üzerindeki etkileri araştırılmakta (Ortega-Barón ve ark., 2019) ve bu programlar sistematik derlemelerle değerlendirilmektedir (Uysal Toraman ve ark., 2021). Ayrıca hemşireler, çocukların bireysel ve sosyal gereksinimlerini değerlendirerek zorbalığa maruz kalma riskini artırabilecek durumların erken fark edilmesine yardımcı olmalıdır.

İkincil koruma düzeyinde zorbalık davranışlarının erken tanınması, zorbalığa maruz kalan ve zorbalık davranışı gösteren öğrencilerin belirlenmesi, fiziksel yaralanma durumunda gerekli sağlık bakımının sağlanması ve ihtiyaç duyulduğunda ilgili uzmanlara yönlendirme yapılması önemlidir. Bu süreçte hemşirelik literatüründe zorbalığın etkileri, tarama araçları ve yönlendirme kaynakları ele alınmaktadır (Fisher ve ark., 2017). Hemşireler, güvene dayalı iletişim kurarak çocukların kendilerini ifade etmelerini desteklemeli ve psikososyal destek gereksinimlerini değerlendirmelidir.

Üçüncül koruma düzeyinde ise zorbalığın çocuklar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması, psikososyal iyilik hâlinin desteklenmesi ve zorbalığın tekrarlanmasının önlenmesi hedeflenir. Bu süreçte ailelerle iş birliği yapılması, çocukların izlenmesi ve gerekli durumlarda psikolojik danışmanlık veya ruh sağlığı hizmetlerine yönlendirilmesi önem taşımaktadır (Demir ve Küçük, 2020).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akran zorbalığı, çocuk ve ergenlerin fiziksel, psikolojik ve sosyal sağlığını etkileyen önemli bir halk sağlığı sorunudur. İncelenen çalışmalar, zorbalığın farklı yaş gruplarında ve çeşitli biçimlerde görülebildiğini; yaygınlık oranlarının ise araştırmaların örneklemine, kullanılan ölçüm araçlarına ve zorbalığın tanımlanma biçimine göre değişebildiğini göstermektedir. Geleneksel zorbalığın yanı sıra siber zorbalığın ve yapay zekâ destekli dijital içeriklerin ortaya çıkardığı yeni risklerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle akran zorbalığıyla mücadelede yalnızca zorbalık davranışını önlemeye değil, mağdurları desteklemeye ve öğrencilerin güvenli bir okul ortamında bulunmalarını sağlamaya da odaklanılmalıdır.

Akran zorbalığının önlenmesine yönelik olarak okul, aile ve sağlık çalışanları arasında iş birliği sağlanmalı, öğrencilerin zorbalığı tanıma ve bildirme becerileri desteklenmelidir. Okullarda yaş gruplarına uygun, etkileşimli ve dijital araçlardan yararlanan önleme programları uygulanabilir. Hemşireler; zorbalığın erken belirtilerini fark etme, çocuk ve ergenlere psikososyal destek sağlama, aileleri bilgilendirme ve okul temelli koruyucu çalışmalara katılma açısından önemli bir role sahiptir; bu rolün yerine getirilebilmesi için okul hemşireliği hizmetlerinin ve görev tanımlarının güçlendirilmesi önerilebilir. Ayrıca siber zorbalık ve yapay zekâ ile oluşturulan zararlı içerikler konusunda dijital okuryazarlığın güçlendirilmesi, güncel önleme çalışmalarının bir parçası olmalıdır.

Bu derlemenin sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışma sistematik bir tarama protokolüne dayanmayan bir anlatı derlemesidir; bu nedenle tüm ilgili yayınları kapsadığı söylenemez. Ayrıca incelenen çalışmalar farklı tanım, ölçüm aracı, yaş grubu ve zaman aralığı kullandığından yaygınlık oranları doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda ortak tanım ve ölçüm yaklaşımlarını kullanan, farklı yaş gruplarını ve zorbalık türlerini kapsayan, güncel yaygınlık verileri sunan ve önleme programlarının etkililiğini değerlendiren çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Aboujaoude, E., Savage, M. W., Starcevic, V. ve Salame, W. O. (2015). Cyberbullying: Review of an old problem gone viral. *Journal of Adolescent Health, 57*(1), 10–18. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2015.04.011

Avşar, F. ve Ayaz Alkaya, S. (2018). Akran zorbalığının önlenmesinde okul sağlığı hemşiresinin rolü. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 5*(1), 78–84. https://doi.org/10.31125/hunhemsire.431134

Chang, F.-C., Chiu, C.-H., Miao, N.-F., Chen, P.-H., Lee, C.-M., Chiang, J.-T. ve Pan, Y.-C. (2015). The relationship between parental mediation and Internet addiction among adolescents, and the association with cyberbullying and depression. *Comprehensive Psychiatry, 57*, 21–28. https://doi.org/10.1016/j.comppsych.2014.11.013

Çak Esen, T. (2020). Akran zorbalığı [Editoryal]. *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi, 14*(2), 101. https://doi.org/10.12956/tchd.704963

Çalışkan, Z., Evgin, D., Bayat, M., Caner, N., Kaplan, B., Öztürk, A. ve Keklik, D. (2019). Peer bullying in the preadolescent stage: Frequency and types of bullying and the affecting factors. *Journal of Pediatric Research, 6*(3), 169–179. https://doi.org/10.4274/jpr.galenos.2018.26576

Çelen, Ç., Çöp, E., Şenses Dinç, G., Hekim, Ö., Göker, Z., Sekmen, E. ve Üneri, Ö. S. (2020). Çocuk psikiyatrisi polikliniğine başvuran ergenlerde akran zorbalığı ile siber zorbalık ve öfke ifade tarzlarının ilişkisi. *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi, 14*(2), 108–118. https://doi.org/10.12956/tjpd.2018.398

Demir, K. ve Küçük, S. (2020). Akran zorbalığı önleme ve müdahale programlarında güncel

yaklaşımlar ve hemşirelik rolleri. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 3*(2), 87–102.

Eyüboğlu, M., Eyüboğlu, D., Pala, S. C., Oktar, D., Demirtaş, Z., Arslantaş, D. ve Ünsal, A. (2021). Traditional school bullying and cyberbullying: Prevalence, the effect on mental health problems and self-harm behavior. *Psychiatry Research, 297*, Article 113730. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.113730

Fisher, K., Cassidy, B. ve Mitchell, A. M. (2017). Bullying: Effects on school-aged children, screening tools, and referral sources. *Journal of Community Health Nursing, 34*(4), 171–179. https://doi.org/10.1080/07370016.2017.1369801

Gürhan, N. (2017). Her yönü ile akran zorbalığı. *Turkiye Klinikleri Journal of Psychiatric Nursing-Special Topics, 3*(2), 175–181.

Güzeloğlu, E., Ateş, B., Ozdrama Yildiz, E. G., Kök, S., Dağ, H. ve Arica, V. (2026). Patterns of peer bullying among adolescents: The role of BMI and socioeconomic factors—a cross-sectional study in Turkey. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*. Advance online publication. https://doi.org/10.1515/ijamh-2026-0013

Haylı, R. G. ve Çırak, Y. (2023). Siber zorba olan ve olmayan ergenlerin yordanmasında siber mağduriyet, akran zorbalığı ve karanlık üçlünün rolü. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24*(1), 420–448. https://doi.org/10.17679/inuefd.1224522

Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., Kelly, D. L. ve Fishbein, B. (2020). *TIMSS 2019 international results in mathematics and science*. TIMSS & PIRLS International Study Center.

Olweus, D. (1993). *Bullying at school: What we know and what we can do*. Blackwell Publishing.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *PISA 2018 results (Volume III): What school life means for students' lives*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/acd78851-en

Ortega-Barón, J., Buelga, S., Ayllón, E., Martínez-Ferrer, B. ve Cava, M. J. (2019). Effects of intervention program Prev@cib on traditional bullying and cyberbullying. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(4), Article 527. https://doi.org/10.3390/ijerph16040527

Pörhölä, M., Cvancara, K., Kaal, E., Kunttu, K., Tampere, K. ve Torres, M. B. (2020). Bullying in university between peers and by personnel: Cultural variation in prevalence, forms, and gender differences in four countries. *Social Psychology of Education, 23*, 143–169. https://doi.org/10.1007/s11218-019-09523-4

Rajba, B. ve Głowacki, B. (2025). Awareness and prevalence of deepfake cyberbullying: A study of Polish students aged 12–15. *Psychologia Wychowawcza, 31*, 61–73. https://doi.org/10.5604/pw.2524

Seyhan Şahin, S. ve Ayaz Alkaya, S. (2023). Prevalence and predisposing factors of peer bullying and cyberbullying among adolescents: A cross-sectional study. *Children and Youth Services Review, 155*, Article 107216. https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2023.107216

Silva, G. R. R. e, Lima, M. L. C. de, Acioli, R. M. L. ve Barreira, A. K. (2020). Prevalence and factors associated with bullying: Differences between the roles of bullies and victims of bullying. *Jornal de Pediatria, 96*(6), 693–701. https://doi.org/10.1016/j.jped.2019.09.005

Thornton, E., Panayiotou, M. ve Humphrey, N. (2025). Prevalence, inequalities, and impact of bullying in adolescence: Insights from the #BeeWell study. *International Journal of Bullying Prevention, 7*(4), 521–539. https://doi.org/10.1007/s42380-024-00244-7

Tolosana, R., Vera-Rodriguez, R., Fierrez, J., Morales, A. ve Ortega-Garcia, J. (2020). Deepfakes and beyond: A survey of face manipulation and fake detection. *Information Fusion,*

64, 131–148. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.06.014
Uludaşdemir, D. ve Küçük, S. (2019). Cyber bullying experiences of adolescents and parental awareness: Turkish example. *Journal of Pediatric Nursing, 44*, e84–e90. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2018.11.006
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019). *Behind the numbers: Ending school violence and bullying*.
Useche, S. A., Valle-Escolano, R., Valle, E. ve Colomer-Pérez, N. (2023). Gender differences in teenager bullying dynamics and predictors of peer-to-peer intimidation. *Heliyon, 9*(9), Article e20243. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20243
Uysal Toraman, A., Dağhan, Ş. ve Kısa, Ö. (2021). Akran zorbalığını önlemede okul tabanlı müdahale programları: Sistematik derleme. *Humanistic Perspective, 3*(2), 359–399. https://doi.org/10.47793/hp.936791
Westerlund, M. (2019). The emergence of deepfake technology: A review. *Technology Innovation Management Review, 9*(11), 40–53. https://doi.org/10.22215/timreview/1282
Wiertsema, M., Vrijen, C., van der Ploeg, R., Sentse, M. ve Kretschmer, T. (2023). Bullying perpetration and social status in the peer group: A meta-analysis. *Journal of Adolescence, 95*(1), 34–55. https://doi.org/10.1002/jad.12109
World Health Organization. (2022). *Violence against children*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/violence-against-children
World Health Organization Regional Office for Europe. (2024, March 27). *One in six school-aged children experiences cyberbullying, finds new WHO/Europe study*. https://www.who.int/europe/news-room/27-03-2024-one-in-six-school-aged-children-experiences-cyberbullying--finds-new-who-europe-study

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

HEMŞİRELİK ÖĞRENCİLERİNİN YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK KAYGI VE TUTUMLARININ BELİRLENMESİ

Esma Nur BARAKLI
Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Yüksek Lisans Programı, Konya, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-2280-0327
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği AD., Konya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X

ÖZET

Sağlık sistemlerine hızla entegre olan yapay zekâ teknolojileri, hemşirelik uygulamalarında yapısal ve işlevsel değişimlere neden olmaktadır. Bu süreçte geleceğin hemşireleri olan öğrencilerin teknolojiye yönelik algıları ve kaygı düzeyleri mesleki adaptasyon açısından kritik önem taşımaktadır. Bu araştırma, hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik kaygı ve tutumlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Tanımlayıcı ve ilişki arayıcı tipteki bu araştırmanın evrenini, Mayıs–Haziran 2025 tarihleri arasında Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan bir devlet üniversitesinin hemşirelik bölümünde öğrenim gören hemşirelik öğrencileri oluşturmuştur. Örneklem büyüklüğü evreni bilinen örneklem hesaplamasına göre belirlenmiş ve çalışma 263 hemşirelik öğrencisi ile tamamlanmıştır. Araştırma verileri, araştırmacılar tarafından hazırlanan Tanıtıcı Bilgi Formu ve Yapay Zekâ Soru Formu ile Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği kullanılarak sınıf ortamında yüz yüze görüşme yöntemiyle toplanmıştır. Verilerin analizi SPSS 22.0 paket programı kullanılarak tanımlayıcı istatistikler, korelasyon ve çoklu doğrusal regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin yaş ortalaması 19,87 ± 1,90 olup %82,5'ini kadın öğrenciler oluşturmuştur. Öğrencilerin %84'ünün yapay zekâyı aktif olarak kullandığı (en yaygın ChatGPT, %89,7), aynı oranda katılımcının (%84,0) bu teknolojinin gelecekte mesleklerini yok edeceğine inandığı saptanmıştır. Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği puan ortalaması 46,75 ± 12,27 olarak bulunmuştur. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda; kadın cinsiyete sahip olmanın, yapay zekâ (ChatGPT) kullanmanın ve gelecekte iş bulmanın tehlikeye gireceğini düşünmenin yapay zekâ kaygısını anlamlı ve pozitif yönde yordayan en güçlü faktörler olduğu belirlenmiştir ($p< 0,001$). Bu çalışma, öğrenciler arasında yapay zekâ kullanımının yaygın olmasına rağmen, aynı zamanda mesleki geleceklerine ilişkin belirgin bir kaygı düzeyiyle birlikte seyrettiğini göstermektedir. Kadın cinsiyet, yapay zekâ kullanımı ve gelecekte iş bulma olasılığının azalacağına yönelik inanç kaygıyı artıran temel unsurlardır. Bulgular, teknolojik adaptasyon ile mesleki belirsizlik algısının eş zamanlı ilerlediğini düşündürmekte olup hemşirelik eğitim müfredatlarının yalnızca teknik kullanımı değil, yapay zekâ ile etik ve insani bakım iş birliğini kapsayacak şekilde güncellenmesini gerektirmektedir.

Anahtar kelimeler: Hemşire, kaygı, öğrenci, tutum, yapay zekâ.

DETERMINING NURSING STUDENTS' ANXIETY AND ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) technologies are being rapidly integrated into healthcare systems, bringing about structural and functional changes in nursing practice. In this context, nursing students' perceptions of and anxiety about these technologies are of critical importance for their professional adaptation. This study aimed to determine nursing students' anxiety and attitudes toward artificial intelligence. This descriptive and correlational study was conducted among nursing students enrolled in the nursing department of a public university in the Central Anatolia Region of Türkiye between May and June 2025. The sample size was calculated using a formula for a known population, and the study was completed with 263 nursing students. Data were collected through face-to-face administration of a Descriptive Information Form, an Artificial Intelligence Questionnaire developed by the researchers, and the Artificial Intelligence Anxiety Scale in a classroom setting. Data were analyzed using SPSS version 22.0, employing descriptive statistics, correlation analysis, and multiple linear regression analysis. The mean age of the participating students was 19.87 ± 1.90 years, and 82.5% were female. Overall, 84.0% of the students reported using AI, with ChatGPT being the most commonly used tool (89.7%). Similarly, 84.0% believed that AI would eliminate the nursing profession in the future. The mean score on the Artificial Intelligence Anxiety Scale was 46.75 ± 12.27. Multiple linear regression analysis showed that female gender, ChatGPT use, and the perception that future employment opportunities would be threatened were significant positive predictors of AI anxiety ($p < 0.001$). The findings indicate that although AI use is widespread among nursing students, it coexists with concerns about their professional future. Female gender, AI use, and the perception of reduced future employment opportunities were identified as factors associated with higher AI anxiety. These findings suggest that technological adaptation and perceived professional uncertainty may occur simultaneously. Therefore, nursing curricula should be updated to address not only the technical use of AI but also ethical considerations and collaboration between AI technologies and human-centered nursing care.

Keywords: Nurse, anxiety, student, attitude, artificial intelligence.

1. GİRİŞ

Yapay zekâ (YZ), fiziksel ya da sanal çevreleri etkileyebilen; veri girdilerinden öğrenerek tahmin, öneri, içerik ya da karar üretebilen makine tabanlı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2023), YZ sistemlerini açık ya da örtük hedefler doğrultusunda çıktı üreten ve kullanım sonrasında sergiledikleri otonomi ve uyum düzeyine göre farklılaşan sosyo-teknik yapılar olarak sınıflandırmaktadır. Benzer biçimde United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2021), YZ'yi öğrenme, akıl yürütme ve karar verme gibi bilişsel işlevleri yerine getirebilen bilgi işleme sistemleri olarak tanımlamakta; insan hakları, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerine dayalı etik çerçeveyi vurgulamaktadır.

Son yıllarda YZ'nin sağlık alanındaki uygulamaları belirgin biçimde artmıştır. Klinik karar destek sistemleri, görüntü analizi, erken uyarı skorları ve büyük veri analitiği gibi uygulamalar; tanı doğruluğunu artırma, klinik hataları azaltma ve bakım süreçlerini optimize etme potansiyeli nedeniyle öne çıkmaktadır. World Health Organization (WHO, 2023), YZ'nin sağlık hizmetlerinde güvenli ve etkili kullanımına yönelik yönetişim ilkelerini tanımlamış; hasta güvenliği ve veri gizliliğini temel öncelikler arasında göstermiştir. Ayrıca YZ'nin yaygın ve entegre kullanımıyla sağlık harcamalarında %5-10 oranında tasarruf sağlanabileceği

öngörülmektedir (Sahni ve ark., 2023). İlaç yönetimi, düşme riskinin önlenmesi ve advers olayların erken tespiti gibi alanlarda makine öğrenimi uygulamalarının hasta güvenliğini güçlendirdiği bildirilmektedir (De Micco ve ark., 2025). World Economic Forum (2025) ise teletıp ve uzaktan izlem sistemlerinin küresel sağlık çıktılarının iyileştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu rapor etmektedir.

Hemşirelik pratiğinde YZ; bireyselleştirilmiş bakım planlarının oluşturulması, riskli durumların öngörülmesi ve tekrarlayan süreçlerin otomatikleştirilmesi yoluyla klinik verimliliği artırabilmektedir (Al-Antari, 2023). Bununla birlikte entegrasyon süreci yalnızca teknik yeterlilikle sınırlı değildir; hemşirelerin ve hemşirelik öğrencilerinin YZ'ye yönelik tutumları ve algıladıkları mesleki tehdit düzeyi de belirleyicidir. Her ne kadar YZ'ye yönelik tutumların genel olarak olumlu olduğu bildirilse de (Kandemir ve Azizoğlu, 2024), mesleki rollerin dönüşümü, algoritmik şeffaflık ve veri güvenliği gibi konular sağlık profesyonellerinde kaygı oluşturabilmektedir (Filiz ve ark., 2022). Bu durum özellikle mesleki kimlik gelişim sürecindeki hemşirelik öğrencilerinde daha belirgin görünmektedir. Öğrencilerin teknolojiye açıklığı, YZ'ye ilişkin algıları ve kaygı düzeyleri; bu sistemlerin klinik ortamda benimsenmesi açısından kritik değişkenlerdir (Kwak ve ark., 2022; Labrague ve Al Harrasi, 2025). Bu nedenle hemşirelik müfredatlarının YZ okuryazarlığı ve etik yetkinliği kapsayacak biçimde güncellenmesi önerilmektedir (Nurkalem ve Gülseven Karabacak, 2025).

Literatürde bu alandaki çalışmaların sayısında artış olmakla birlikte, YZ teknolojilerinin hızlı ve sürekli evrimi mevcut bulguların periyodik olarak güncellenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu gereksinimden hareketle planlanan araştırma; hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik güncel tutum ve kaygı düzeylerini belirlemeyi ve elde edilen bulgular doğrultusunda eğitim programları ile uygulama süreçlerine kanıta dayalı yön vermeyi amaçlamaktadır.

1.1. Amaç

Bu çalışma, hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâ kullanımına yönelik kaygı ve tutumlarının belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Araştırmanın soruları şunlardır:

- Hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik düşünceleri nelerdir?
- Hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik kaygı düzeyleri nedir?
- Hemşirelik öğrencilerinin demografik ve yapay zekâya yönelik düşüncelerine ilişkin değişkenler ile yapay zekâya yönelik kaygı düzeyleri arasında ilişki var mıdır?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Tasarımı

Araştırma tanımlayıcı ve ilişki arayıcı türde tasarlandı.

2.2. Araştırmanın Yapıldığı Yer

Araştırma, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir devlet üniversitesinin Hemşirelik Fakültesi'nde yürütüldü.

2.3. Araştırma Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini, 2024–2025 Eğitim Öğretim Yılı Bahar döneminde ilgili fakültede aktif öğrenim gören 762 öğrenci oluşturdu. Örneklem büyüklüğü, evreni bilinen örneklem hesaplamasına göre 256 olarak belirlendi; ancak evrenin tamamına ulaşılmaya çalışılarak çalışma 263 hemşirelik öğrencisi ile tamamlandı. Araştırmaya dahil edilme kriterleri olarak; ilgili fakültede aktif öğrenim görme, gönüllü olma ve Türkçe anlama/konuşma becerisine sahip olma şartları arandı.

2.4. Veri Toplama Araçları ve Süreçleri

Çalışmada veri toplama aracı olarak; Tanıtıcı Bilgi Formu, Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği ve Yapay Zekâ Soru Formu kullanıldı.

Tanıtıcı Bilgi Formu: Bu form, katılımcıların sosyodemografik özelliklerini (katılımcının yaşı, cinsiyeti, sınıf düzeyi, ailesinin tipi ve algılanan gelir durumu, annenin ve babanın eğitim düzeyi ile çalışma durumu) ve günlük internet kullanım sürelerini, sahip oldukları teknolojik araçlar ve kullandıkları yapay zekâ uygulamalarını belirlemek amacıyla literatür doğrultusunda araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur (Reddy ve ark., 2019; Filiz ve ark., 2022; Kwak ve ark., 2022).

Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği: Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği, yapay zekâya yönelik kaygı düzeylerini ölçmek amacıyla geliştirilmiş bir ölçektir. Wang ve Wang (2022) tarafından geliştirilen ölçeği Akkaya ve ark. (2021) Türkçeye uyarlamıştır. Ölçek, öğrenme (5 madde), iş değiştirme (4 madde), sosyoteknik körlük (4 madde), yapay zekâ yapılandırması (3 madde) olmak üzere toplam 16 madde ve 4 alt boyuttan oluşmaktadır. Likert tipinde olan ölçekte katılımcıların sorulara "Tamamen Katılıyorum (5), Katılıyorum (4), Kararsızım (3), Katılmıyorum (2), Tamamen Katılmıyorum (1) şeklinde yanıtlar vermesi istenmektedir. Ölçekten 16- 80 aralığında puan alınabilmekle birlikte, puanın yükselmesi kaygı düzeyinin yüksek olduğunu ifade eder. Ölçeğin orijinal Cronbach Alfa katsayısı 0,94 olarak bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen Cronbach Alfa katsayısı 0,94 olarak belirlenmiştir.

Yapay Zekâ Soru Formu (Artificial Intelligence Questionnaire): Katılımcıların yapay zekâya yönelik belirli ifadeler karşısındaki görüşlerini "Evet" veya "Hayır" şeklinde belirtmelerini sağlamak amacıyla literatür doğrultusunda (Yılmaz ve ark., 2021; Öcal ve ark., 2020; Sandanasamy ve ark., 2025; Zhao ve ark., 2025) araştırmacılar tarafından oluşturulan 14 maddelik bir formdur. Sorular, yapay zekânın hem hemşirelik eğitimindeki rolü hem de mesleki uygulamalara yönelik algılarını ölçmeye yöneliktir. Bu formda herhangi bir puanlama sistemi uygulanmamaktadır. "Evet" yanıtları, öğrencilerin belirli bir ifadeye katıldığını, "Hayır" yanıtları ise ifadeye katılmadığını göstermektedir.

2.5. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırma için 25.04.2025 tarih ve 2025/69 karar sayılı Etik Kurul onayı ve ilgili kurumdan resmi izin alınmıştır. Katılımcılardan "Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu" yüz yüze alınmıştır.

2.6. Verilerin Toplanması

Veriler, Mayıs–Haziran 2025 tarihleri arasında ilgili üniversitenin Hemşirelik Fakültesi'nde, sınıf ortamında yüz yüze görüşme yöntemi ile toplanmıştır. Uygulama öncesinde öğrencilere araştırmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilerek gönüllü onamları alınmıştır. Katılımcıların yanıt verirken etki altında kalmamaları için herhangi bir müdahalede bulunulmamış, sadece soruları olan öğrencilere açıklayıcı bilgiler verilmiştir. Veri toplama süreci her katılımcı için yaklaşık 15–20 dakika sürmüştür.

2.7. Verilerin Değerlendirilmesi

SPSS 22.0 programı ile yapılmıştır. Analizlerde frekans, yüzde, aritmetik ortalama, standart sapma ve medyan değerleri kullanılmıştır. Değişkenler arası ilişkiler korelasyon ve çoklu doğrusal regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar %95 güven aralığında, $p< 0,05$ anlamlılık düzeyinde incelenmiştir.

3. BULGULAR

Araştırmaya katılan hemşirelik öğrencilerinin yaş ortalaması 19,87±1,90 olarak bulunmuş, yaş aralığı ise 17-35 arasında değişmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu kadınlardan oluşmakta (%82,5) ve sınıf dağılımı açısından en yüksek oran %36,9 ile ikinci sınıf öğrencilerine aittir. Katılımcıların büyük bölümü çekirdek aile (%89) yapısına sahiptir ve gelir durumları orta seviyede (%82,1) yoğunlaşmaktadır. Ayrıca öğrencilerin %49'u öğrenci yurdunda kaldığını belirtmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin, ebeveynlerinin demografik özellikleri

incelendiğinde; annelerin eğitim düzeyinin en fazla ilkokul (%41,4), babaların eğitim düzeyinin ise en fazla lise (%28,5) olduğu, annelerin %75,7'sinin ev hanımı olduğu babaların ise %75,3'ünün tam zamanlı bir işte çalıştığı saptanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmaya Katılan Öğrencilerin Sosyodemografik Özellikleri

	X̄±SS	**Medyan (min-max)**
Yaş	19,87±1,90	20,00 (17-35)
	***n* (263)**	**%**
Cinsiyet		
Kadın	217	82,5
Erkek	46	17,5
Sınıf		
1. Sınıf	70	26,6
2. Sınıf	97	36,9
3. Sınıf	54	20,5
4. Sınıf	42	16,0
Aile Tipi		
Çekirdek	234	89,0
Geniş	29	11,0
Gelir Durumu		
İyi	34	12,9
Orta	216	82,2
Kötü	13	4,9
Kaldığı Yer		
Aile yanı	125	47,5
Öğrenci yurdu	129	49,0
Arkadaşlarla ortak ev	4	1,5
Ev (tek)	5	1,9
Anne Eğitim Durumu		
Okuryazar Değil	11	4,2
İlkokul	109	41,4
Ortaokul	45	17,1
Lise	56	21,3
Üniversite	32	12,2
YüksekLisans/Doktora	10	3,8
Baba Eğitim Durumu		
Okuryazar Değil	9	3,4
İlkokul	70	26,6
Ortaokul	39	14,8
Lise	75	28,5
Üniversite	64	24,3
YüksekLisans/Doktora	6	2,3
Anne Çalışma Durumu		
Tam Zamanlı	52	19,8
Yarı Zamanlı	11	4,2
Çalışmıyor	199	75,7
Emekli	1	0,3
Baba Çalışma Durumu		
Tam Zamanlı	198	75,3
Yarı Zamanlı	22	8,4
Çalışmıyor	37	14,0
Emekli	6	2,3

Öğrencilerin teknoloji ve yapay zekâ kullanımına ilişkin veriler incelendiğinde, teknolojik

araçlardan akıllı telefon kullanım oranının %98,5 ile ilk sırada yer aldığı, tablet ve bilgisayar kullanımın ise ortalama düzeyde kaldığı görülmüştür. Öğrenciler yapay zekâ platformlarını %84 oranında kullanmaktadır. Yapay zekâ destekli uygulamalar arasında en yaygın kullanılan ChatGPT olup (%89,7) bunu Gemini (%47,5) ve Google asistanın takip ettiği belirlenmiştir. Günlük internet kullanım süresi açısından değerlendirildiğinde, öğrencilerin %85,9'unun iki saatten fazla çevrimiçi vakit geçirdiği belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Öğrencilerin Teknoloji ve Yapay Zekâ Kullanım Özelliklerinin Dağılımı (n=263)

Teknoloji ve Yapay Zekâ Kullanım Özellikleri	***n***	**%**
Akıllı Telefon		
Evet	259	98,5
Hayır	4	1,5
Tablet		
Evet	154	58,6
Hayır	109	41,4
Bilgisayar		
Evet	133	50,6
Hayır	130	49,4
Yapay zekâ kullanma		
Evet	221	84,0
Hayır	42	16,0
Öğrencilerin Yapay Zekâ Kullanımı*		
ChatGPT	236	89,7
Gemini	125	47,5
Deepseek	17	6,5
Google Assistant	104	39,5
Sanal Asistan	10	3,8
Yabancı Dil Asistanı	9	3,4
Siri	68	25,9
Günlük İnternet Kullanım Süresi		
30 Dakika 1 Saat	5	1,9
1 Saat 2 Saat arası	32	12,2
2 saat ve üzeri	226	85,9

*Cevaplar evet seçeneği üzerinden verilmiştir.

Yapay zekâ ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin puan ortalamaları incelendiğinde, ölçek alt boyutlarından öğrencilerin ortalama puan aldığı, toplam ölçek puanın ise 46,75±12,27 olduğu saptanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği Toplam ve Alt Boyut Puan Ortalamaları

	X̄ ± SS	**Min-Max**
Öğrenme	11,63±4,13	5-25
İş Değiştirme	12,78±3,81	4-20
Sosyoteknik Körlük	13,41±3,63	4-20
Yapay Zekâ Yapılandırması	8,94±3,17	3-15
Toplam	46,75±12,27	16-80

X̄: ortalama SS: standart sapma

Öğrencilerin yapay zekânın hemşirelik eğitimindeki rolü ve mesleki uygulamalara yönelik algılarının dağılımına yönelik görüşleri Tablo 4'te sunulmuştur. Öğrencilerin verdiği cevaplar

incelendiğinde ilk üç sırayı "Yapay zekâ uygulamalarının etik yönü de önemlidir" (%88,6); "Yapay zekâ kullanmak hayatımı kolaylaştırır. (%85,6)" ve "Yapay zekâ sebebiyle ileride yapacağım mesleğim yok olacaktır. (%84,0)" aldığı görülmektedir. Öğrencilerin en düşük oranda ise "Mesleğime yönelik yapay zekâ ile ilgili gelişmeleri takip ederim." Cevabını verdikleri saptanmıştır (%47,9).

Tablo 4. Öğrencilerin Yapay Zekânın Hemşirelik Eğitimindeki Rolüne Ve Mesleki Uygulamalara Yönelik Algılarının Dağılımı

Değişkenler	**S**	**%**
Hemşirelik eğitiminde yapay zekâ ile ilgili eğitim verilmelidir	198	75,3
Hemşirelikte kullanılan yapay zekâ uygulamaları güvenilirdir	152	57,8
Mesleğime yönelik yapay zekâ ile ilgili gelişmeleri takip ederim	126	47,9
Yapay zekâ uygulamalarının etik yönü de önemlidir	233	88,6
Yapay zekâ sağlık alanında kullanılmalıdır	212	80,6
Yapay zekâ ifadesi bana robot sistemleri çağrıştırmaktadır	182	69,2
Yapay zekânın karar desteği verme özelliği, sağlık çalışanlarına yardımcı olur	198	75,3
Yapay zekâ sistemleri, tıbbi hata yapma riskini azaltır	156	59,3
Yapay zekânın kullanımının artması, gelecekte iş bulmamı tehlikeye sokar	162	61,6
Yapay zekâ yaygınlaştıkça sağlık çalışanlarına olan ihtiyaç giderek azalacaktır	132	50,2
Yapay zekânın kendi kendine öğrenmesi mesleğimi daha iyi yapabilmemi kolaylaştırır	139	52,9
Yapay zekânın sağlıkta kullanımıyla hastaların kendi hastalıklarına yönelik bilgi edinmesi, çalışma ortamında sağlık çalışanlarına zorluklar çıkarır	144	54,8
Yapay zekâ sebebiyle ileride yapacağım mesleğim yok olacaktır	221	84,0
Yapay zekâ kullanmak hayatımı kolaylaştırır	225	85,6

*Cevaplar evet seçeneği üzerinden verilmiştir.

Tablo 5'te sunulan çoklu doğrusal regresyon analizine göre model istatistiksel olarak anlamlıdır (F=5,992; p=0,015); ancak açıklayıcılık düzeyi düşüktür (R^2=0,022; Düzeltilmiş R^2=0,019). Durbin–Watson değerinin 1,96 civarında olması otokorelasyon sorunu olmadığını göstermektedir. Cinsiyet (B=4,829; β=0,150; p=0,015) ve ChatGPT kullanımı (B=7,383; p=0,003) yapay zekâ kaygısını anlamlı ve pozitif yönde yordamaktadır. En güçlü yordayıcı ise "yapay zekânın artan kullanımının gelecekte iş bulmayı tehlikeye sokacağı" algısıdır (β=0,300; p< 0,001).

Tablo 5. Öğrencilerin Yapay Zekâ Kaygı Düzeyleri ile İlişkili Faktörlerin İncelenmesi

Yapay Zekâ Kaygı	B[1] (95% CI)	SE	β[2]	T	*p*	Durbin-Watson
Sabit	52,419(47,622-57,215)	2,436		21,520	<,001	
Cinsiyet	4,829(8,713-0,945)	1,973	0,150	2,448	,015	1,978
ChatGPT	7,383(2,549-12,217)	2,455		3,007	,003	1,977
YZ kullanımının artması, gelecekte iş bulmamı tehlikeye sokar	7,543 (10,471–4,615)	1,487	0,300	5,073	<,001	1,966

F=5,992, *p*=0,015, Düzeltilmiş R^2=,019, R^2=,022

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik yüksek kabul düzeylerine rağmen,

mesleki gelecekleri konusunda belirgin bir “mesleki gelecek endişesi” taşıdıklarını ortaya koymuştur. Araştırma grubundaki öğrencilerinin teknolojik araçlara ve yapay zekâ uygulamalarına erişimlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmanın dikkat çekici bir verisi, ChatGPT kullanıcılarının yapay zekâ kaygısı puanlarının, bu araçları kullanmayanlara oranla anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmasıdır. Bu durum, teknolojiye hakim olmanın her zaman bir rahatlama sağlamadığını, bazı durumlarda teknolojinin kapasitesini bizzat deneyimlemenin, mesleki geleceğe dair farkındalığı ve beraberinde kaygıyı arttırabileceğini düşündürmektedir. Bir başka deyişle, yapay zekânın neler yapabildiğini yakından gözlemlemek, öğrencilerin “yerini alma” korkusunu soyut bir endişeden somut bir gözleme dönüştürmüş olabilir. Öte yandan Labrague ve Al Harrasi (2025), hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik olumlu tutumlarının, bu teknolojiyi gelecekteki uygulamalarına entegre etme niyetlerini artırdığını ortaya koymuştur. Öğrenci düzeyindeki teknolojiye olumlu yaklaşıma karşın klinik düzeyde temkinli bir seyir izlemektedir; Kandemir ve Azizoğlu (2024), hemşirelerin yapay zekâya yönelik tutumlarını inceledikleri çalışmalarında, teknik yeterlilikten çok mesleğin gelecekteki statüsüne ve insani boyutuna dair endişelerin ön plana çıktığını belirtmiştir. Bu bulgu, öğrencilerin teknik yetkinliklerine rağmen mesleki geleceklerine dair taşıdıkları kaygılarla benzerlik göstermektedir. Literatürde de belirtildiği gibi, günümüz hemşirelik öğrencileri teknolojiye yabancı değildir ve bu araçları kullanma konusunda yüksek bir istek taşımaktadır. Bu durum, yapay zekâ entegrasyonunun önündeki "teknik beceri eksikliği" engelinin, yeni nesil öğrenciler için geçerli olmadığını, asıl sorunun başka bir noktada olduğunu göstermektedir.

Katılımcıların "Z kuşağı" özelliklerini taşıması, onların dijital dünyaya adaptasyonunu hızlandırmakta ve yapay zekâyı günlük yaşamlarının doğal bir parçası olarak görmelerini sağlamaktadır. Bu bağlamda Yılmaz ve ark. (2021), sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinin büyük bir kısmının yapay zekâyı iş yükünü hafifletecek ve bakım kalitesini artıracak bir çözüm ortağı olarak gördüğünü vurgulamaktadır. Dolayısıyla, yapay zekâ entegrasyonunun önündeki yeni nesil profesyoneller için asıl neden "teknik beceri eksikliği" değil mesleğin kimliğini ve geleceğini nasıl etkileyeceğidir. Bu noktada Pepito ve Locsin (2019), teknolojik olarak gelişmiş bir gelecekte hemşirelerin yerlerini koruyup koruyamayacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Yazarlar teknolojik bakımın insani derinliğinin önüne geçmemesi gerektiği konusunda ciddi bir uyarıda bulunarak, dikkatin teknik beceride değil, teknolojinin mesleki varoluşunda olması gerektiğini söylemektedir.

Çalışmamızda cinsiyetin kaygı düzeyi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ancak düşük düzeyde ilişkili olduğu bulunmuştur. Söz konusu bulgu, kadınların teknolojiye daha mesafeli olduğunu savunan Alruwaili ve ark. (2024) ile çelişirken; kadın öğrencilerin daha olumlu tutum sergilediğini saptayan Saydamlı ve ark. (2025)’in güncel verileriyle de farklılık göstermektedir. Bu çelişkili sonuçlar, Z kuşağı öğrencilerinin dijital araçlara erişimdeki fırsat eşitliği ve teknolojiye olan genel güven düzeylerinin benzerliği ile açıklanabilir.

Öte yandan, öğrencilerin yapay zekâyı bir "tehdit" olarak algılamaları, teknolojik işsizlik korkusuyla yakından ilişkilidir. Filiz ve ark. (2022), sağlık profesyonellerinin yapay zekânın kendi rollerini ikame edebileceği düşüncesiyle yüksek düzeyde kaygı yaşadıklarını belirtmiştir. Bizim çalışmamızda da "iş bulma tehlikesi" algısının kaygıyı en çok artıran temel faktör olduğu (β = 0,300 , p < 0,001) belirlenmiştir. Yapay zekâ kaygısındaki değişimin yalnızca %2,2'sinin kurulan bu modelle açıklanabilmesi (R^2 = 0,022), öğrencilerin kaygı düzeylerinde başka bireysel, psikososyal ve çevresel faktörlerin de etkili olabileceğini göstermektedir. Bu kaygı, öğrencilerin etik karar verme süreçlerine de yansımaktadır. Shin ve ark. (2024), yapay zekâ destekli öğrenmenin etik karar verme becerilerini artırabileceğini savunsa da, klinik akıl

yürütme sürecinin tamamen makinelere devredilmesi hemşirelik felsefesine aykırı bir durum olarak algılanmaktadır.

Sonuç olarak, hemşirelik özü itibarıyla insani dokunuş ve empati üzerine kurulu bir disiplindir. Wang ve Liu (2025)'nun da altını çizdiği üzere, özellikle pediatri hemşireliği gibi şefkat odaklı branşlarda yapay zekânın rutin teknik verileri yönetmesi; hemşireye çocukla terapötik bağ kurması için gereken "nitelikli bakım zamanını" geri kazandıracaktır. Eğitim müfredatlarının sadece teknik kullanımı değil, yapay zekâ ile etik ve insani iş birliğini de içerecek şekilde güncellenmesi, öğrencilerin mesleğinin yok olmasına yönelik kaygılarını yönetmelerine yardımcı olacaktır.

5. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı verilerin tek bir merkezden toplanmış olması, elde edilen bulguların farklı bölgelerdeki veya farklı eğitim müfredatlarına sahip üniversitelerdeki öğrencilere genellenebilirliğini düşürmesidir. Bu nedenle sonuçlar, yalnızca bu çalışma grubunun özelliklerini yansıtmaktadır. İkinci olarak, çalışmanın kesitsel tasarımda olması, verilerin sadece belirli bir zaman dilimindeki durumu yansıtmasına neden olmaktadır. Öğrencilerin yapay zekâya yönelik kaygı ve tutumları, alacakları eğitimlerle, teknolojik gelişmelerle veya klinik deneyimlerle zaman içinde değişkenlik gösterebilir. Bu çalışma, söz konusu değişimi takip etme veya neden-sonuç ilişkisi kurma imkanı sunmamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, öğrenciler arasında yapay zekâ kullanımının yaygın olmasına rağmen, aynı zamanda mesleki geleceklerine ilişkin belirgin bir kaygı düzeyiyle birlikte seyrettiğini göstermektedir. Kadın cinsiyet, yapay zekâ kullanımı (özellikle ChatGPT) ve gelecekte iş bulma olasılığının azalacağına yönelik inanç, yapay zekâ kaygısını anlamlı düzeyde artıran faktörler olarak belirlenmiştir. Bulgular, teknolojik yeterlilik ile mesleki güven algısının her zaman paralel ilerlemediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, yapay zekânın hemşirelik uygulamalarında nasıl konumlandırılacağına ilişkin belirsizliklerin öğrencilerin temel endişe kaynağı olduğu söylenebilir. Bu doğrultuda, hemşirelik eğitiminde yapay zekânın yalnızca teknik bir araç olarak değil; etik, profesyonel rol ve insan merkezli bakım açısından ele alınması oldukça önemlidir. Öğrencilerin yapay zekâyı mesleki rollerini destekleyen bir unsur olarak değerlendirebilmelerini sağlayacak yapılandırılmış eğitim yaklaşımlarının geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akkaya, B., Özkan, A. ve Özkan, H. (2021). Yapay Zekâ Kaygı (YZK) Ölçeği: Türkçeye uyarlama, geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Alanya Akademik Bakış, 5*(2), 1125–1146. https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.833668

Al-Antari, M. A. (2023). Artificial intelligence for medical diagnostics—Existing and future AI technology. *Diagnostics, 13*(4), 688. https://doi.org/10.3390/diagnostics13040688

Alruwaili, M. M., Abuadas, F. H., Alsadi, M., Alruwaili, A. N., Elsayed Ramadan, O. M., Shaban, M., Al Thobaity, A., Alkahtani, S. M. ve El Arab, R. A. (2024). Exploring nurses' awareness and attitudes toward artificial intelligence: Implications for nursing practice. *Digital Health, 10*, 20552076241271803. https://doi.org/10.1177/20552076241271803

De Micco, F., Di Palma, G., Ferorelli, D., De Benedictis, A., Tomassini, L., Tambone, V., Cingolani, M. ve Scendoni, R. (2025). Artificial intelligence in healthcare: Transforming patient safety with intelligent systems—A systematic review. *Frontiers in Medicine, 11*, 1522554. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1522554

Filiz, E., Güzel, Ş. ve Şengül, A. (2022). Sağlık profesyonellerinin yapay zekâ kaygı durumlarının incelenmesi. *Journal of Academic Value Studies, 8*(1), 47–55. https://doi.org/10.29228/javs.57808

Kandemir, F. ve Azizoğlu, F. (2024). Hemşirelerin yapay zekâya yönelik genel tutumlarının incelenmesi. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi, 28*(2), 113–125.

Kwak, Y., Ahn, J.-W. ve Seo, Y. H. (2022). Influence of AI ethics awareness, attitude, anxiety, and self-efficacy on nursing students' behavioral intentions. *BMC Nursing, 21*, 267. https://doi.org/10.1186/s12912-022-01048-0

Labrague, L. J. ve Al Harrasi, M. (2025). Nursing students' perceptions of artificial intelligence (AI) using the technology acceptance model: A systematic review. *Teaching and Learning in Nursing, 20*(3), 274–282. https://doi.org/10.1016/j.teln.2025.02.032

Nurkalem, S. ve Gülseven Karabacak, B. (2025). Hemşirelikte yapay zekâ: Teknolojik devrimin etik ve hümanistik boyutu. *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi, 7*(2), 116–123. https://doi.org/10.33308/2687248X.202572383

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence* (OECD/LEGAL/0449). https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449

Öcal, E. E., Atay, E., Önsüz, M. F., Algın, F., Çokyiğit, F. K., Kılınç, S., Köse, Ö. S. ve Yiğit, F. N. (2020). Tıp fakültesi öğrencilerinin tıpta yapay zekâ ile ilgili düşünceleri. *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi, 2*(1), 9–16.

Pepito, J. A. ve Locsin, R. (2019). Can nurses remain relevant in a technologically advanced future? *International Journal of Nursing Sciences, 6*(1), 106–110. https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2018.09.013

Reddy, S., Fox, J. ve Purohit, M. P. (2019). Artificial intelligence-enabled healthcare delivery. *Journal of the Royal Society of Medicine, 112*(1), 22–28. https://doi.org/10.1177/0141076818815510

Sahni, N., Stein, G., Zemmel, R. ve Cutler, D. M. (2023). *The potential impact of artificial intelligence on healthcare spending* (Working Paper No. 30857). National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w30857

Sandanasamy, S., McFarlane, P., Okamoto, Y. ve Couper, A. L. (2025). Knowledge and attitudes of nursing students towards artificial intelligence and related factors: A systematic review. *Journal of Nursing Reports in Clinical Practice, 3*(6), 582–590.

Saydamlı, Ş., Şahin, S. ve Er, M. N. (2025). Hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik tutumlarının incelenmesi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 10*(3), 439–445. https://doi.org/10.61399/ikcusbfd.1548434

Shin, H., De Gagne, J. C., Kim, S. S. ve Hong, M. (2024). The impact of artificial intelligence-assisted learning on nursing students' ethical decision-making and clinical reasoning in pediatric care: A quasi-experimental study. *Computers, Informatics, Nursing, 42*(10), 704–711. https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000001177

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137

Wang, F. ve Liu, D. (2025). Artificial intelligence empowers pediatric nursing education: Challenges, opportunities, and developmental pathways. *UAI Journal of Arts, Humanities and Social Sciences, 5*(5), 1–10.

Wang, Y.-Y. ve Wang, Y.-S. (2022). Development and validation of an artificial intelligence anxiety scale: An initial application in predicting motivated learning behavior. *Interactive Learning Environments, 30*(4), 619–634. https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674887

World Economic Forum. (2025). *The future of AI enabled health: Leading the way*. https://reports.weforum.org/docs/WEF_The_Future_of_AI_Enabled_Health_2025.pdf

World Health Organization. (2023, October 19). *WHO outlines considerations for regulation of artificial intelligence for health*. https://www.who.int/news/item/19-10-2023-who-outlines-considerations-for-regulation-of-artificial-intelligence-for-health

Yılmaz, Y., Uzelli Yılmaz, D., Yıldırım, D., Akın Korhan, E. ve Özer Kaya, D. (2021). Yapay zekâ ve sağlıkta yapay zekânın kullanımına yönelik sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinin görüşleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12*(3), 297–308. https://doi.org/10.22312/sdusbed.950372

Zhao, Y., Yuan, Y., Wen, Z., Leng, L., Shi, L., Hu, X., Wei, X., Zuo, M., Mou, J., Luo, Q., Chen, M., Hu, R. ve Gao, H. (2025). The current status, knowledge, attitudes, and challenges of generative artificial intelligence use among undergraduate nursing students: A single-center cross-sectional survey of western China. *Frontiers in Public Health, 13*, 1648416. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1648416

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

OSMANLI ŞEYHÜLİSLÂMLARININ İLK DÖRT HALİFEYE DAİR YAZILARI: SEBÎLÜRREŞÂD MECMUASI ÖRNEĞİ*

Doç. Dr. Esra YILDIZ
Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslâm Tarihi ve Sanatları 77200 Yalova, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1236-7446
Sümeyye KURT
Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İslâm Tarihi ve Sanatları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi, 77200 Yalova, Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-1806-4990

ÖZET
Osmanlı Devleti'nin son döneminde yayımlanan *Sebîlürreşâd* mecmuası, dönemin dinî, siyasî, ilmî ve toplumsal meselelerinin tartışıldığı önemli süreli yayınlar arasında yer almaktadır. İslâm dünyasının karşı karşıya bulunduğu sorunların tarihî ve dinî referanslar çerçevesinde değerlendirildiği mecmuada, erken İslâm tarihine ve özellikle ilk dört halife dönemine yapılan atıflar dikkat çekmektedir. Bu atıflarda ilk dört halife dönemi, yalnızca tarihî bir süreç olarak ele alınmamış; adalet, yönetim, hukuk, dinî otorite ve toplumsal düzen gibi meselelerin değerlendirilmesinde başvurulan bir referans çerçevesi olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda, Osmanlı Devleti'nin son döneminde şeyhülislâmlık makamında bulunmuş Mûsâ Kâzım Efendi, Haydarîzâde İbrâhim Efendi ve Mustafa Sabri Efendi'nin *Sebîlürreşâd* mecmuasında yayımlanan yazıları önem arz etmektedir. Osmanlı ilmiye geleneğini temsil eden ve devletin en yüksek dinî makamında görev yapan bu isimlerin ilk dört halifeye ilişkin değerlendirmeleri, İslâm tarihinin erken dönemin ilmî ve fikrî tartışmalarında nasıl yorumlandığını ortaya koyması bakımından incelenmeye değerdir. Bu çalışmanın amacı, söz konusu üç şeyhülislâmın *Sebîlürreşâd* mecmuasında yayımlanan yazılarından hareketle ilk dört halifeye ilişkin görüşlerini tespit ve tahlil etmek, bu değerlendirmelerin dönemin dinî, siyasî ve toplumsal meseleleriyle ilişkisini ortaya koymaktır. Çalışmada tarihî araştırma ve metin tahlili yöntemleri esas alınmıştır. Bu doğrultuda öncelikle adı geçen şeyhülislâmların hayatları, ilmî şahsiyetleri ve faaliyetleri ana hatlarıyla ele alınmakta; ardından mecmuada yayımlanan yazıları incelenerek ilk dört halifenin şahsiyetlerine, yönetim anlayışlarına ve uygulamalarına ilişkin değerlendirmeleri karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Çalışmada ayrıca, şeyhülislâmların erken İslâm tarihine ait olay ve şahsiyetleri hangi bağlamlarda gündeme getirdikleri, tarihî örneklerden hareketle kendi dönemlerinin meselelerine nasıl yaklaştıkları ve ilk dört halife döneminin dinî ve siyasî mirasını ne şekilde yorumladıkları üzerinde durulmaktadır. Böylece ilk dört halife döneminin Osmanlı Devleti'nin son dönemindeki dinî ve fikrî tartışmalarda üstlendiği işlevin, şeyhülislâmların görüşleri üzerinden değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, *Sebîlürreşâd* mecmuasında ilk dört halifeye yapılan atıfların tarihî bir anlatının ötesinde, dönemin dinî, hukukî ve siyasî meselelerinin yorumlanmasında nasıl bir düşünsel zemin oluşturduğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yönüyle araştırmanın, hem Osmanlı Devleti'nin son dönemindeki İslâm tarihi tasavvurunun hem de şeyhülislâmların tarihî mirası yorumlama biçimlerinin anlaşılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İslâm Tarihi, Sebîlürreşâd, İlk Dört Halife, Şeyhülislâmlık, Mûsâ Kâzım Efendi.

* Bu makale, Doç. Dr. Esra YILDIZ danışmanlığında Sümeyye KURT tarafından hazırlanan "*XX. Yüzyıl Osmanlı Basınında İlk Dört Halife"* başlıklı, yayımlanmamış yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ARTICLES OF OTTOMAN SHAYKH AL-ISLAMS REGARDING THE FIRST FOUR CALIPHS: THE CASE OF THE JOURNAL SEBILURRESAD

ABSTRACT

The *Sebîlürreşâd* journal, published during the final period of the Ottoman Empire, was among the important periodicals in which the religious, political, scholarly, and social issues of the period were discussed. In the journal, where the problems facing the Islamic world were examined within historical and religious frames of reference, references to early Islamic history, particularly the period of the first four caliphs, are noteworthy. These references did not treat the period of the first four caliphs merely as a historical process; rather, it was used as a frame of reference for evaluating issues such as justice, governance, law, religious authority, and social order. In this context, the writings published in *Sebîlürreşâd* by Mûsâ Kâzım Efendi, Haydarîzâde İbrâhim Efendi, and Mustafa Sabri Efendi, who held the office of Shaykh al-Islam during the final period of the Ottoman Empire, are of particular importance. The assessments of the first four caliphs made by these figures, who represented the Ottoman scholarly tradition and served in the state's highest religious office, merit examination as they reveal how early Islamic history was interpreted in the scholarly and intellectual debates of the period.This study aims to identify and analyse the views of these three Shaykh al-Islams concerning the first four caliphs, based on their writings published in *Sebîlürreşâd*, and to reveal the relationship between these assessments and the religious, political, and social issues of the period. Historical research and textual analysis methods are employed. Accordingly, the lives, scholarly backgrounds, and activities of the aforementioned Shaykh al-Islams are first outlined. Their writings published in the journal are then examined, and their assessments of the personalities, approaches to governance, and practices of the first four caliphs are analysed comparatively. The study also considers the contexts in which the Shaykh al-Islams referred to events and figures from early Islamic history, how they approached the issues of their own time through historical examples, and how they interpreted the religious and political legacy of the first four caliphs. In this way, the study seeks to evaluate the role played by the period of the first four caliphs in the religious and intellectual debates of the late Ottoman period through the views of these Shaykh al-Islams. This study aims to demonstrate that references to the first four caliphs in *Sebîlürreşâd* served not merely as elements of historical narrative but also as an intellectual framework through which the religious, legal, and political issues of the period were interpreted. In this respect, the research is expected to contribute to a better understanding of both the perception of Islamic history in the final period of the Ottoman Empire and the ways in which the Shaykh al-Islams interpreted the historical legacy.

Keywords: Islamic History, *Sebîlürreşâd*, The First Four Caliphs, Shaykh al-Islam, Mûsâ Kâzım Efendi.

GİRİŞ

II. Meşrutiyet'ten Cumhuriyet'e kadar olan dönem, Osmanlı ilmiye çevrelerinde din, siyaset ve toplum eksenli tartışmaların yoğunlaştığı bir zaman aralığıdır. Bu süreçte süreli yayınlar, günlük haberleri aktaran sıradan vasıtalar olmaktan çıkıp fikir alışverişinin yürütüldüğü ana mecralar hâline gelmiştir. Bu neşriyat, dönemin düşünce dünyasını yansıtan ve toplumsal değişimleri kavramaya imkân tanımıştır. Bu yayınlar arasında bulunan *Sırât-ı Müstakîm* ve onun devamı niteliğindeki *Sebîlürreşâd* mecmuası, sahip olduğu yayın politikası ve yazar kadrosu ile Osmanlı ilmiye çevrelerinde çok mühim bir konuma sahiptir. Mecmua, ilk olarak 1908 yılında *Sırât-ı Müstakîm* adıyla yayımlanmaya başlamış, 1912 yılından itibaren

Sebîlürreşâd mecmuası ismini alarak yayın hayatını sürdürmüştür. Mehmed Âkif'in başyazarlığını üstlendiği ve fikrî yönünü belirlediği bu yayın, dönemin önde gelen âlim ve mütefekkirlerinin görüşlerini geniş bir okuyucu kitlesine ulaştırarak ahlâkî, siyasî ve toplumsal konuların müzakere edilmesine imkân sağlamıştır. *Sebîlürreşâd* mecmuası, Osmanlı toplumunu kuşattığı gibi daha geniş bir İslâm coğrafyasına da hitap eden bir çizgi benimsemiş; hilâfet, İslâm birliği, meşrutiyet, içtihad, eğitim ve ahlâk gibi konuları merkeze almıştır.
Sebîlürreşâd mecmuası, yayım hayatını tamamladıktan sonra da araştırmalar açısından önemini korumuştur. Mecmuanın tüm sayıları, günümüzde Bağcılar Belediyesi tarafından 25 cilt hâlinde tıpkıbasım olarak yayımlanmış ve araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Bu neşirler, *Sebîlürreşâd* mecmuası'nın Osmanlı Devleti'nin son dönemindeki ilmî birikiminin bütüncül biçimde takip edilmesine olanak tanımakta; mecmuayı İslâm düşünce tarihi ile Osmanlı ilmiye teşkilatı ve entelektüel hayatına dair yürütülen çalışmalar için temel kaynaklardan biri kılmaktadır.
Osmanlı Devleti'nin dinî ve hukukî alanların en üst otoritesi olan şeyhülislâmlık, ilmiye teşkilâtının zirvesinde yer alan kurumsal bir yapı olarak bu tartışmaların tam merkezinde bulunmuştur. Fetva verme yetkisinin yanı sıra saltanatın dinî dayanaklarının şekillenmesinde rol üstlenen şeyhülislâmlar, özellikle Osmanlı Devleti'nin son döneminde resmî görevleriyle sınırlı kalmayarak telif eserleri ve süreli yayınlardaki yazılarıyla da düşünce hayatına katkı sunmuşlardır. *Sebîlürreşâd* mecmuasında ele alınan konular incelendiğinde, ilk dönem İslâm tarihi olaylarının dönemin güncel meseleleriyle doğrudan karşılaştırıldığı görülmektedir. Yazarlar, ilk dört halife devrindeki uygulamaları güncel problemlere örnek teşkil edecek biçimde ele alarak dönemin siyasi meşruiyet, adalet anlayışı ve yönetim ahlâkı gibi temel kavramlarını kendi şartlarıyla kıyaslamıştır.
Bu çalışma, *Sebîlürreşâd* mecmuasında ilk dört halife hakkında yazılar kaleme alan Mûsâ Kâzım Efendi, Haydarîzâde İbrâhim Efendi ve Mustafa Sabri Efendi'yi merkeze almaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, söz konusu şeyhülislâmların hayatları, devlet bürokrasisindeki vazifeleri ile resmî görevlerinin siyasî ve idarî boyutları biyografik bir çerçevede ele alınmıştır. İkinci bölümde ise bu isimlerin *Sebîlürreşâd* mecmuasında yayımlanan ve ilk dört halifeyi konu edinen makaleleri incelenerek, metinlerde öne çıkan yaklaşımlar ile dönemin siyasî ve toplumsal şartlarıyla kurulan ilişki analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, Osmanlı'nın son yüzyılındaki ilmiye ricalinin ilk dört halifeyi ele alış biçimleri ile dönemin siyasî-toplumsal şartları bağlamındaki bakış açıları ortaya konulmuştur.

1. Osmanlı Şeyhülislâmlarının İlmî Şahsiyetleri

1.1.Mûsâ Kâzım Efendi (1858-1920)

Mûsâ Kâzım Efendi, XIX. yüzyılın ikinci yarısı ile XX. yüzyılın başlarında yaşamış, Osmanlı ilmiye teşkilâtı içerisinde yetişmiş ve ilmî çalışmalarıyla öne çıkmış bir âlimdir. 1275 (1858–59) yılında Erzurum'un Tortum kazasında dünyaya gelen Mûsâ Kâzım Efendi'nin babası İbrahim Efendi'dir. İlk tahsilini Tortum'da tamamlayan Mûsâ Kâzım Efendi, Nakşibendî şeyhi Mehmed Efendi ile irtibat kurmuş; ardından Balıkesir'de bulunan dedesi Nûreddin Efendi'nin yanında eğitimini sürdürmüştür. Bu dönemde mukaddemât-ı ulûmdan başlayarak akâid ve kelâm sahasına uzanan dersler almıştır (Gürer, 2003, ss. 7-10; Koca, 2020, ss. 221-222).
Balıkesir ulemâsı arasında yer alan Ali Şuûrî ve Lütfi Efendi'den dinî ilimler tahsil eden Mûsâ Kâzım Efendi, tahsilini ilerletmek üzere İstanbul'a intikal etmiş ve burada Kazasker Eşref Efendi ile Hoca Şâkir Efendi'den ders almıştır. 1888'de ise icâzet alarak ilmiyye mesleğine adım atmıştır (Kara, 2014, s. 107). İcâzetinin ardından ilmiyye mesleğinde ilerleyen Mûsâ Kâzım Efendi, 1309 (1892) yılında açılan ruûs imtihanını kazanarak müderrisliğe tayin edilmiş

ve Fatih Camii'nde ders okutmaya başlamıştır. Genç yaşta müderrislik görevine getirilmesi, ilmî ehliyetinin ilmiye çevrelerinde erken dönemde kabul gördüğüne işaret etmektedir (Çetinkaya, 2007, ss. 75-141).

Muallim Nâci'ye usûl-i fıkıh ve Ahmed Midhat Efendi'ye ise tefsir dersleri okutmuştur. Tefsir derslerinde benimsediği takrir usulü, Ahmed Midhat Efendi'nin En'âm sûresine kadar tuttuğu notlarla kısmen metinleşmiş; ancak Mûsâ Kâzım Efendi'nin hazırlamayı hedeflediği Türkçe tefsir çeşitli sebeplerle tamamlanamamıştır. 1895 yılında İstanbul ruûsuna nâil olan Mûsâ Kâzım Efendi, 1900'da Mekteb-i Hukuk'ta Mecelle müderrisi olarak görevlendirilmiş ve bu vazifesini 1908'e kadar sürdürmüştür. Aynı dönemde Dârülfünun ve Dârülmuallimîn gibi kurumlarda da dersler vererek ilmî faaliyetlerini geniş bir sahaya yaymıştır. İlmiyye hiyerarşisindeki yükselişi neticesinde 14 Şubat 1907 tarihinde Haleb Mevleviyeti'ne tayin edilmiştir (Keskin, 1993, ss. 55-56). İlerleyen yıllarda Süleymaniye medreselerinde mahreç payesiyle ders veren Mûsâ Kâzım Efendi, aynı dönemde Bâb-ı Meşîhat bünyesindeki Tedkīkāt-ı Müellefât Meclisi'nde başkâtiplik yapmış ve Maarif Nezâreti İlmî Dairesi üyeliğinde bulunmuştur. Daha sonra Hey'et-i A'yân azalığına tayin edilmiş ve bu görevle birlikte kaynaklarda "Hoca" ünvanıyla anılmaya başlanmıştır (Bakırcı, 2014, ss. 105-107).

II. Meşrutiyet sonrasında Osmanlı bürokrasisinde yaşanan dönüşüm, Meşihat makamındaki değişimler üzerinden de izlenebilmektedir. Nitekim 1910 yılında dönemin Şeyhülislâmı Hüseyin Hüsnü Efendi, sağlık gerekçeleriyle görevinden istifa ettiğini bildirmiştir. Bu istifanın ardından, İbrahim Hakkı Paşa kabinesinde boşalan Meşihat makamına, ilmî ehliyeti ve Ayan Meclisi'ndeki tecrübesi dikkate alınarak Musa Kâzım Efendi tayin edilmiştir (Ertan, 1969, s. 126). Ağustos 1910'da ilk defa meşihat makamına getirilen Mûsâ Kâzım Efendi, Osmanlı Devleti'nin 121. şeyhülislâmı olarak görev yapmıştır. İlerleyen yıllarda farklı tarihlerde dört defa daha bu makama tayin edilmiş ve toplamda beş yılı aşkın bir süre şeyhülislâmlık vazifesini sürdürmüştür. Meşihatı esnasında idarî sorumluluklarına rağmen tedris faaliyetlerini ihmal etmemiş; Mekteb-i Kudât'ta muallimlik yaparak ilmî kimliğini muhafaza etmiştir (Güllüce, 2002, s. 219; Yakıt, 1999, s. 45).

Talat Paşa kabineleri döneminde şeyhülislâmlık görevini yürütmüş ve Evkaf Nezâreti vekilliğini üstlenmiştir. I. Dünya Savaşı'nın başında yayımlanan cihat beyannâmesini imzalayan ilmiye mensupları arasında yer alan Mûsâ Kâzım Efendi'nin meşihat makamındaki tayini basın ve fikir çevrelerinde yankı uyandırmış; artan tanınırlığı üzerine kamuoyunda çıkan iddialara karşı 1911 yılında bir beyanname kaleme alarak ilmî çizgisini ve Meşihat makamının itibarını savunmuştur (Koca, 2002, s. 34; Mûsâ Kâzım, 1911, ss. 197-198).

Görevi esnasında Dârü'l-Hikme'nin resmî açılışını gerçekleştiren ve haftada iki gece düzenlediği derslerle *Sebîlürreşâd* başta olmak üzere süreli yayınlarda fikirlerini paylaşan Mûsâ Kâzım Efendi, I. Dünya Savaşı sonrasındaki siyasi gelişmeler neticesinde Edirne'ye sürgün edilmiş ve 10 Ocak 1920 tarihinde burada vefat etmiştir (Çetinkaya, 2007, s. 80; Gürer, 2003, s. 97-98; Koca, 2020, s. 221-222).

1.2. Haydarîzâde İbrâhim Efendi (1864-1933)

Haydarîzâde İbrâhim Efendi, Osmanlı Devleti'nin 126. şeyhülislâmı olup, 1864 yılında Musul vilâyetine bağlı Erbil'de doğmuştur (Altınsu, 1972, s. 252). Babası dönemin tanınmış âlimlerinden Haydarîzâde Âsım Efendi'dir. Haydarî ailesi, özellikle Irak ve çevresinde yürüttükleri medrese faaliyetleriyle Sünnî ilmî geleneğin mühim temsilcileri arasında yer almıştır (Atasoy, 2020, s. 7-8).

Tahsil hayatına Erbil'de başlayan İbrâhim Efendi, sıbyan mektebi ve medrese öğrenimini tamamladıktan sonra hususî dersler alarak icâzet elde etmiştir. Medrese tahsilinin ardından

adliye sahasına yönelen İbrâhim Efendi, 20 Haziran 1884'te Adliye Nezâreti sınavını kazanarak mertebe-i sâniye diploması almış ve Osmanlı adlî teşkilâtında fiilen görev almaya başlamıştır. Bu çerçevede Zaho, Cizre ve Mardin gibi taşra merkezlerinde nâiblik görevlerinde bulunmuş; ayrıca mahkeme reisliği ehliyetini de imtihanla elde etmiştir (Albayrak, 1980a, s. 169; Albayrak, 1980b, s. 170; Beydilli ve İpşirli, 2000, s. 297).

1901–1916 yılları arasında hem ilmî hem idarî görevler üstlenen Haydarîzâde İbrâhim Efendi, Meclis-i Maârif azalığı gibi merkezî vazifelerde bulunmuştur. Medresetü'l-vâizîn'de mezâhib ve turuk-ı İslâmiyye dersleri vermesiyle ilmî kimliğini pekiştirmiştir. Bu dönemde ilmiyye ile adliye arasında geçişken bir kariyer yürütmesi, Haydarîzâde İbrâhim Efendi'nin çok yönlü bir bürokratik tecrübeye sahip olduğunu düşündürmektedir (Albayrak, 1980, s. 170).

Bu ilmî ve idarî tecrübenin ardından 5 Ağustos 1918'de Dârü'l-hikmeti'l-İslâmiyye üyeliğine tayin edilen İbrâhim Efendi, kısa süre sonra şeyhülislâm olmuştur. Bu dönemde İslâm dünyasının gerilemesini siyasî ve idarî ihmallere bağlamış, Batı'nın ilim ve tekniğini takip etmeyi dinî bir gereklilik olarak görmüştür. İstanbul'un işgali sürecinde ihtiyatlı bir tutum izleyen İbrâhim Efendi, Millî Mücadele aleyhine fetva çıkarılması baskılarına açıkça destek vermemiştir. Görevi 2 Nisan 1920'de sona ermiştir (İnal, 1951, s. 2071).

Türkçe, Arapça ve Farsçaya vukufiyeti bulunan, Kürtçeye de aşina olan Haydarîzâde İbrâhim Efendi, ilmî birikimi ve hitabet gücüyle öne çıkmış; çağdaşları arasında "ümmü'l-havâdis" lakabıyla anılmıştır (Ertem, 1981, s. 5).

Haydarîzâde İbrâhim Efendi'nin başlıca müstakil eseri *Mezâhib ve Turuk-ı İslâmiyye Târihi* olup, bu eserinde İslâm mezhepleri ve tarikatlarını tarihî bir çerçevede ele almıştır. Bunun yanı sıra *Rüyâ*, *Terkîb-i Bend* ve *Irak Ordusuna Hitâb* adlı manzum eserleri bulunduğu bilinmektedir (Kartal, 2024, ss.10-11). Ayrıca *Sırât-ı Müstakîm* ve *Sebîlürreşâd* gibi süreli yayınlarda dinî ve fikrî muhtevalı yazılar kaleme almıştır (Altunmeral, 2019, s.3).

Saltanatın kaldırılmasının ardından Türkiye'den ayrılan Haydarîzâde İbrâhim Efendi, hayatının son dönemini Medine'de geçirmiş ve 1933 yılında burada vefat etmiştir (Beydilli ve İpşirli, 2000, s. 298).

1.3. Mustafa Sabri Efendi (1869-1954)

Mustafa Sabri Efendi, II. Meşrutiyet'ten Cumhuriyet'in ilk yıllarına uzanan süreçte yaşamış, Osmanlı ilmiye sınıfının önde gelen simalarından biridir. Hanefî mezhebine mensup bir fakih olarak klasik ilmiye geleneği içerisinde yetişmiştir. Dönemin siyasî ve fikrî tartışmalarında kaleme aldığı yazılar ve üstlendiği görevler vasıtasıyla yer almıştır. Hayatı, Osmanlı Devleti'nin çözülme süreci ile yeni siyasî düzenin teşekkül ettiği kritik bir döneme tekabül etmektedir (Yılmaz, 1994, ss. 5-15).

12 Rebîülevvel 1286 (22 Haziran 1869) tarihinde Tokat'ta dünyaya gelmiştir. İlk eğitimine Tokat'ta başlayıp küçük yaşta Kur'an hıfzını bitirmiştir. Ardından İslâmî ilimler alanındaki tahsilini Zûniyezâde Ahmed Efendi'den aldığı icâzetle sürdürmüş, daha sonra Kayseri'de Divrikli Mehmed Emin Efendi'nin ilmî halkasına katılmıştır. Eğitimini ilerletmek amacıyla İstanbul'a gelmiş; meşîhat çevresinde Gümülcineli Ahmed Âsım Efendi ile Mehmed Âtıf Efendi'den dersler almıştır. Ruûs imtihanını kazanmasının ardından 1890'da yirmi iki yaşında Fâtih Camii müderrisliğine tayin edilmesi, onun ilmiye teşkilâtı içindeki yerini belirginleştirmiştir (Yavuz, 2020, ss. 350-351).

Hicrî 1172 yılından itibaren Osmanlı padişahlarının huzurunda Ramazan aylarında icra edilen ve ilmî münazaralarla yürütülen Huzûr (Huzûr-i Hümâyûn) derslerine seçkin ulemâ arasında Mustafa Sabri Efendi de katılmıştır. Uzun yıllar süren tedris faaliyetleri sırasında çok sayıda talebeye icâzet veren Mustafa Sabri Efendi, 1898 yılında Huzûr Dersleri muhataplığına

getirilmiş ve bu görevini 1914 yılına kadar sürdürmüştür. Katılımcılar arasında yaşça en genç isimlerden biri olmasına rağmen, ilmî kudreti ve zekâsıyla Sultan II. Abdülhamid'in dikkatini çekmiştir (Bayram, 2014, s. 35).

Aynı dönemde Beşiktaş Âsâriye Camii imamlığı görevinde bulunmuş; ilmî faaliyetlerini yalnızca medrese ile sınırlı tutmayarak Yıldız Sarayı Kütüphanesi'nde görev almış, Medresetü'l-vâizîn, Medresetü'l-mütehassısîn ve Süleymaniye Medresesi'nde tefsir ve hadis dersleri vermiştir (Akbulut, 1992, s. 32).

II. Meşrutiyet döneminde *Sebîlürreşâd* ve *Alemdar* başta olmak üzere çeşitli süreli yayınlarda kaleme aldığı yazılarla ilmî ve fikrî görüşlerini kamuoyuna taşımıştır. Bu dönemde Tokat mebusu olarak Meclis-i Meb'ûsan'da yer almıştır (Albayrak, 1984, ss. 20-28).

Beyânü'l-Hak mecmuasında ser-muharrirlik yapan Mustafa Sabri Efendi, İslâm'a yöneltilen eleştirilere cevap mahiyetinde yazılar kaleme almıştır. 1919-1920 yılları arasında ise Damat Ferid Paşa hükümetlerinde şeyhülislâmlık görevinde bulunmuştur. Şeyhülislâmlığı sırasında İstanbul'un işgali ve Anadolu'da gelişen Millî Mücadele sürecine dair eleştirel değerlendirmelerde bulunmuş, bu doğrultudaki görüşlerini Şûrâ-yı Saltanat toplantılarında dile getirmiştir. 1920 yılında görevinden ayrılmasıyla meşihat vazifesi sona ermiştir (Kaya, 1996, ss. 36-37).

Cumhuriyet'in ilânından sonra Türkiye'den ayrılan Mustafa Sabri Efendi, Mısır'da ilmî ve fikrî faaliyetlerini sürdürmüş; Batılılaşma ve dinî düşünceye dair tartışmalara eleştirel eserlerle katılmıştır. *Mevḳıfü'l-ʿaḳl* ve *Mevḳıfü'l-beşer* başta olmak üzere kaleme aldığı çalışmalar, kelâm ve modern İslâm düşüncesi alanında etkili olmuştur. Hayatının son yıllarını Kahire'de geçiren Mustafa Sabri Efendi, talebe ve araştırmacılarla temasını sürdürerek ilmî faaliyetlerine devam etmiştir (Yavuz, 2020, ss. 352-353).

12 Mart 1954 Cuma sabahı saat 08.00'de, 86 yaşında vefat eden Mustafa Sabri Efendi'nin cenaze namazı ertesi gün Ezher Şeyhi tarafından kıldırılmış; naaşı Kahire'de Abbâsiye semtinde Derrâse mevkiine defnedilmiştir. Vefatı Mısır basınında geniş yankı bulmuş, cenazesine ilmî ve siyasî çevrelerden çok sayıda kişi iştirak etmiştir (Büyükbaş, 2016, s. 486).

2. *Sebîlürreşâd* Mecmuasında İlk Dört Halifeye İlişkin Değerlendirmeler

2.1. Mûsâ Kâzım Efendi'nin Yazıları

Mûsâ Kâzım Efendi, ilk dönem İslâm yönetim anlayışını ele alırken müsâvât ilkesinin Hz. Peygamber döneminden itibaren hukuk ve toplumsal ilişkilerde uygulandığını, ilk dört halifenin de bu anlayışı sürdürdüğünü vurgulamıştır. Bu çerçevede halifelerin beytülmâlden aldıkları tahsisat ve kamu imkânlarını kullanma biçimlerine dikkat çekmiştir. Hz. Ebû Bekir, halifeliği sırasında ticaretle geçimini sağlamaya çalışmış, devlet işlerine yeterince vakit ayıramaması üzerine kendisine ihtiyaçlarını karşılayacak ölçüde tahsisat ayrılmıştır. Hz. Ömer, devlet gelirleri önemli ölçüde artmasına rağmen kendi tahsisatının yükseltilmesini kabul etmemiş; Hz. Osman ve Hz. Ali de önceki halifelerden devralınan bu hassasiyeti sürdürmüştür. Mûsâ Kâzım Efendi, bu örneklerle ilk dört halifenin hilâfet makamını şahsî kazanç ve ayrıcalık aracı olarak görmediklerini, kamu imkânlarının kullanımında eşitlik ve adaleti esas aldıklarını ortaya koymuştur. Böylece müsâvât ilkesinin ilk dönem İslâm yönetiminde somut uygulamalarla karşılık bulduğunu göstermiştir (Musa Kâzım, 1908, s. 119-120).

İlk dört halifenin yönetim anlayışında öne çıkan bu eşitlik ve adalet yaklaşımının yanı sıra Kur'ân-ı Kerîm'in korunması meselesi de dönemin dinî tartışmaları içerisinde ele alınmıştır. Emîr Hân'ın Kur'ân'ın tahrif edildiği yönündeki iddialarına karşılık, Kur'ân'ın Hz. Peygamber döneminden itibaren hıfz, tilâvet, ta'lîm, kitâbet ve tevâtür yoluyla korunduğu açıklanmıştır. Hz. Peygamber, kendisine vahyedilen âyetleri sahâbeye öğretmiş, Kur'ân öğreticileri

görevlendirmiş ve farklı bölgelere muallimler göndermiştir. Yemâme Savaşı'nda çok sayıda hâfızın şehit olması, Kur'ân'ın Hz. Peygamber hayattayken geniş bir sahâbe topluluğu tarafından ezberlendiğini göstermektedir. Hz. Ebû Bekir ve Hz. Ömer dönemlerinde fetihlerin genişlemesiyle Kur'ân'ın tilâveti ve hıfzı farklı bölgelere yayılmış, Hz. Osman döneminde ise mushaflar ve hâfızlar geniş bir coğrafyada varlık göstermiştir. Bu çerçevede Kur'ân'ın korunması, yalnızca yazılı nüshaların muhafazasına bağlanmamış; ezber, sözlü aktarım, tevâtür ve ümmetin ortak hafızasıyla birlikte değerlendirilmiştir (Musa Kâzım, 1909, ss. 407-408).

Kur'ân'ın korunmasında ezber ve sözlü aktarımın yanında yazılı metnin muhafazası da önemli bir yer tutmuştur. Mûsâ Kâzım Efendi, Hz. Peygamber döneminde Kur'ân sûrelerinin ayrı ayrı sahifelere yazıldığını ve sahâbenin de bu sahifelerden yararlanarak şahsî nüshalar oluşturduğunu belirtmektedir. Hz. Ebû Bekir döneminde ise Yemâme Savaşı'nda çok sayıda hâfızın şehit olması üzerine Hz. Ömer, Kur'ân'ın bir araya getirilmesini teklif etmiş; Hz. Ebû Bekir de bu öneriyi kabul ederek Zeyd b. Sâbit'i görevlendirmiştir. Böylece Hz. Peygamber döneminde ayrı ayrı yazılmış olan sûreler bir araya getirilerek muhafaza altına alınmış, hazırlanan sahifeler önce Hz. Ebû Bekir'in, ardından Hz. Ömer'in ve Hz. Hafsa'nın yanında korunmuştur. Müellif, Hz. Ebû Bekir'in bu hizmetini Kur'ân'ın cem'i açısından ilk önemli çalışma olarak değerlendirmekte ve Hz. Ali'nin de onun bu hizmetini takdir ettiğini aktarmaktadır. Buna karşılık Kur'ân'ı ilk cem eden kişinin Hz. Ali olduğu yönündeki rivayeti icmâ ve tevâtürle bağdaşmadığı gerekçesiyle eleştirmekte; Sâlim Mevlâ Ebî Huzeyfe'ye nispet edilen rivayeti de onun Yemâme Savaşı'nda şehit olması sebebiyle kabul etmemektedir (Musa Kâzım, 1909, s. 101-102).

Hz. Osman döneminde ise farklı bölgelerde yaygınlaşan kıraat biçimlerinin Müslümanlar arasında anlaşmazlıklara yol açması, Kur'ân'ın ortak bir mushaf hâlinde muhafaza edilmesini gerekli kılmıştır. Mûsâ Kâzım Efendi, başlangıçta yedi harf ruhsatı çerçevesinde sürdürülen farklı okuyuşların, özellikle Şam ve Irak orduları arasında birbirlerinin kıraatlerini reddetme noktasına ulaşmasıyla bir ayrışma tehlikesi doğurduğunu belirtmektedir. Huzeyfe b. Yemân'ın durumu Hz. Osman'a bildirmesi üzerine Hz. Osman, Hz. Ali ve diğer sahâbîlerle istişare etmiş; Hz. Hafsa'nın yanında bulunan sahifeler esas alınarak ortak bir mushaf hazırlanmasına karar vermiştir. Zeyd b. Sâbit başkanlığında oluşturulan heyete, yazım sırasında ihtilaf yaşanması hâlinde Kureyş lehçesinin esas alınması talimatı verilmiştir. Müellif, Hz. Osman'ın bu uygulamasını Kur'ân'ın korunmasını sağlamak ve Müslümanlar arasındaki birliği sürdürmek amacıyla gerçekleştirilen bir düzenleme olarak ele almaktadır. Böylece Hz. Ebû Bekir döneminde gerçekleştirilen cem faaliyetiyle Hz. Osman dönemindeki mushaf çalışmasını, Kur'ân'ın muhafazasını tamamlayan ve güçlendiren iki önemli hizmet olarak sunmaktadır (Musa Kâzım, 1909, s. 118-120).

2.2. Haydarîzâde İbrâhim Efendi'nin Yazıları

Haydarîzâde İbrahim Efendi, emr bi'l-ma'rûf ve nehy ani'l-münker ilkesini İslâm mezheplerinin görüşleri ve sahâbe uygulamaları çerçevesinde ele almaktadır. Bu görevin uygulanmasında silahlı müdahaleye başvurulup başvurulamayacağı tartışılırken Hz. Osman ve Hz. Ali'nin tutumlarını öne çıkarmaktadır. Hz. Osman'ın öldürülmesi sırasında silahlı müdahaleden kaçınarak sabır ve teenniyi tercih etmesi, zor kullanmaya karşı çıkanların dayanaklarından biri olarak gösterilmektedir. Hz. Ali ise kötülüğe silahlı müdahaleyi yeterli güç ve başarı ihtimalinin bulunması şartına bağlayan görüş içerisinde zikredilmektedir. Böylece Hz. Osman'ın tutumu üzerinden sabır ve teenni, Hz. Ali'nin yaklaşımı üzerinden ise meşru müdahale ve müdahalenin şartları ele alınmaktadır (Haydarîzâde İbrahim Efendi, 1918, s. 66).

Emr bi'l-ma'rûf ve nehy ani'l-münker ilkesinin uygulanmasına ilişkin açıklamalarda Hz. Ömer

ve Hz. Ali'nin uygulamalarına yer verilmektedir. Hz. Ömer'in bir kişinin evine duvardan aşarak girmesi ve içeride işlenen bir münkeri görerek onu cezalandırmak istemesi üzerine ev sahibi, kendisini tecessüs yasağı, eve kapıdan girme ve selâm verme hususlarında uyarmıştır. Bunun üzerine Hz. Ömer, kişinin tövbesiyle yetinerek şer'î ceza uygulamaktan vazgeçmiştir. Olayın ardından bir yöneticinin bizzat gördüğü münker karşısında ceza uygulama yetkisini sahâbeye danışmış, Hz. Ali ise iki adil şahidin bulunması gerektiğini belirtmiştir. Bu örneklerde Hz. Ömer'in istişareye ve özel hayatın korunmasına, Hz. Ali'nin ise hukukî delil ve şahitlik şartlarına verdiği önem öne çıkmaktadır. Böylece Haydarîzâde, iki halifenin uygulamaları üzerinden adalet ve hukukî sınırların emr bi'l-ma'rûf ve nehy ani'l-münkerin yerine getirilmesindeki önemini ortaya koymaktadır (Haydarîzâde İbrahim, 1918, s. 161).

2.3. Mustafa Sabri Efendi'nin Yazıları

Mustafa Sabri Efendi, Hâşim Nâhid Bey'in İslâm tarihini ve hilâfet tecrübesini saltanat mücadeleleri üzerinden açıklamasına karşı çıkmaktadır. İslâm'daki hilâfet anlayışının iktidar hırsı ve şahsî çıkarlar üzerine kurulmadığını göstermek için Hz. Ömer ve Hz. Ali'nin uygulamalarından örnekler vermektedir. Hz. Ömer'in ganimetten kendisine düşen kumaşın oğlunun payıyla tamamlandığını açıklaması, kamu malı konusunda ne kadar hassas davrandığını ve halka hesap verme sorumluluğu taşıdığını göstermektedir. Bu olayla Hz. Ömer'in adaletli ve mütevazı yöneticiliğine dikkat çekmektedir. Hz. Ali'yi ise Sıffîn Savaşı sırasında Kur'ân'ın mızraklara takılması hadisesi üzerinden ele almaktadır. Hz. Ali'nin "Kelimetü'l-hakkı ürîdü bihâ bâtıl" (Hak bir söz söylüyor, fakat onunla bâtıl bir amaç güdüyor) sözünü aktaran Mustafa Sabri, onun bu girişimin arkasındaki siyasî amacı fark ettiğini ve Kur'ân'ın siyasî mücadelelerde kullanılmasına karşı çıktığını belirtmektedir. Böylece Hz. Ali'nin dinî değerlerin iktidar mücadelesine alet edilmesine karşı tutumunu vurgulamaktadır. Mustafa Sabri, bu iki örnekle hilâfet dönemlerinin saltanat mücadeleleriyle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır (Mustafa Sabri, 1919, s. 201).

İlk dört halifenin yönetim anlayışından hareketle Osmanlı Devleti'nin son dönemindeki Tanzimat ve Meşrutiyet uygulamalarını da eleştirmektedir. Reşit Paşa ve Mithat Paşa döneminde Batı örnek alınarak yapılan düzenlemelerin Osmanlı toplumunun inançları, ahlâkî değerleri ve tarihî tecrübesiyle yeterince bağdaştırılmadığını savunmaktadır. İslâm'da yöneticinin hukuk ve şeriat hükümleriyle bağlı olduğunu göstermek için bu kez Hz. Ömer'in halk karşısındaki tutumunu örnek vermektedir. Bir bedevînin Hz. Ömer'e, "Eğer eğrilirsen seni kılıçlarımızla doğrulturuz." demesini aktarmakta ve bu sözü halkın halifeyi uyarma, eleştirme ve gerektiğinde yönetimine karşı çıkma hakkının göstergesi olarak değerlendirmektedir. Bu örnekle Hz. Ömer'in adalet anlayışının yanı sıra yöneticinin hesap verebilirliğini ve halkın yönetim üzerindeki denetimini vurgulamaktadır. İlk dört halifenin yönetim tecrübesini İslâm siyaset anlayışının önemli bir dayanağı olarak gören Mustafa Sabri, meşrutiyetin temelindeki yönetimin sınırlandırılması ve yöneticinin sorumluluğu ilkelerinin İslâmî gelenekte de bulunduğunu savunmaktadır. Böylece Hz. Ömer'in uygulamasından hareketle İslâm'da yöneticinin sınırsız yetkiye sahip olmadığını ve halk karşısında sorumluluk taşıdığını ortaya koymaktadır (Mustafa Sabri, 1919, s. 84).

SONUÇ

Sebîlürreşâd mecmuası, Osmanlı Devleti'nin son döneminde dinî, siyasî ve içtimaî meselelerin yoğun biçimde tartışıldığı en etkili süreli yayınlardan biridir. Mecmuada, ilk dönem İslâm tarihine yapılan atıflar belirgin bir yer tutmaktadır. İlk dört halife dönemine dair yazıların yalnızca tarihî rivayetlerin aktarılmasıyla sınırlı kalmadığı, aynı zamanda güncel meselelere

ışık tuttuğu anlaşılmıştır. Bu yazıların; adalet, siyasî iktidarın dinî ve hukuki temelleri, siyasî otorite ve dinî sorumluluk gibi temel kavramların ele alınmasında başvurulan bir referans alanı oluşturduğu görülmüştür. Bu çerçevede, mecmuada yazı kaleme alan şeyhülislâmların ilk dönem İslâm tarihine dair yorumları özel bir önem taşımaktadır.

Sebîlürreşâd mecmuasında ilk dört halife hakkında makaleler neşreden Mûsâ Kâzım Efendi, Haydarîzâde İbrâhim Efendi ve Mustafa Sabri Efendi'nin ilmî şahsiyetleri ile tarih anlayışları birlikte değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme neticesinde, geç Osmanlı döneminin ilmî zihniyetine dair önemli veriler elde edilmiştir. Söz konusu şeyhülislâmların ilk dönem İslâm tarihini Ehl-i Sünnet geleneği çerçevesinde ele aldıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte, içinde bulundukları siyasî ve içtimaî şartlara bağlı olarak farklı vurgular geliştirdikleri görülmüştür.

Mûsâ Kâzım Efendi'nin yazılarında, ilk dört halife devrindeki hilâfet yapısının adalet ve müsâvât ilkeleri etrafında ele alındığı tespit edilmiştir. Bu ilkelerin, İslâm siyaset düşüncesinin tarihî sürekliliği içinde yorumlandığı anlaşılmıştır. Kur'ân'ın cem'i meselesine dair değerlendirmelerinde, ilk dönem uygulamalarının ilmî otoritenin teşekkülü bakımından güvenilir bir zemin olarak sunulduğu görülmüştür. Haydarîzâde İbrâhim Efendi'nin Emr-i Bi'l-Ma'rûf ve Nehy-i Ani'l-Münker meselesini sahâbe uygulamaları çerçevesinde ele aldığı anlaşılmıştır. Bu görevin, hukuk ve maslahat esaslarına bağlı bir sorumluluk olarak değerlendirildiği ortaya konulmuştur. Mustafa Sabri Efendi'nin ise ilk dönem İslâm tarihinin siyâsî çekişmeler ekseninde daraltılmasına karşı çıktığı görülmüştür. Hz. Ali dönemi bağlamında kaleme alınan yazılarda, ilk dönem ilmî birikiminde öne çıkan yaklaşımların belirleyici olduğu dikkat çekmiştir. Netice itibarıyla *Sebîlürreşâd* mecmuasında yayımlanan bu metinler, Osmanlı şeyhülislâmlarının ilk dört halife devrine dair tarihî rivayetleri sadece geçmişi aktarma gayesiyle ele almadıklarını; doğrudan kendi dönemlerinin ilmî ve siyasal meselelerini temellendirmek üzere kullandıklarını göstermektedir. Şeyhülislâmlar tarafından kaleme alınan bu yazılar; yönetimin askerî, siyasî ve hukukî dayanakları ile ilmî otoritenin temellendirilmesinde başvurulan bir referans kaynağıdır. Bu yönüyle çalışma, geç Osmanlı ilmiyesinin tarih tasavvurunu ve *Sebîlürreşâd* mecmuasının bu tasavvurun oluşumundaki rolünü görünür kılarak İslâm tarihi literatürüne katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Akbulut, A. (1992). Şeyhülislam Mustafa Sabri ve görüşleri (1869–1954). İslâmî Araştırmalar, 6(1), 32.

Albayrak, S. (1980). Son devir Osmanlı uleması (Cilt 2). Medrese Yayınevi.

Albayrak, S. (1984). Yürüyenler ve sürünenler. Şamil Yayınevi.

Altınsu, A. (1972). Osmanlı şeyhülislamları. Ayyıldız Matbaası.

Altunmeral, M. (2019). Haydarî-zâde İbrahim Efendi ve manzûmeleri. Divan Edebiyatı Araştırmaları Dergisi, 22, 1–36.

Bakırcı, S. (2014). Erzurumlu Şeyhülislam Mûsa Kâzım Efendi Sempozyumu. İçinde Arşiv belgeleriyle Şeyhülislam Mûsa Kâzım Efendi (ss. 105–107).

Bayram, İ. (2014). Son devir Osmanlı şeyhülislâmlarından Mustafa Sabri Efendi'nin dinî düşüncesi [Doktora tezi, Marmara Üniversitesi].

Büyükbaş, N. (2016). Şeyhülislam Mustafa Sabri Efendi'nin hayatı, eserleri ve İslam hukuk usulü ile ilgili görüşleri. Ekev Akademi Dergisi, 20(66), 486.

Çetinkaya, B. A. (2007). Musa Kazım Efendi'nin dinî, siyasi ve felsefi düşüncesi. Cumhuriyet Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 11(2), 75–141.

Ertan, V. (1969). Tarihte meşihat makamı, ilmiye sınıfı ve meşhur şeyhülislamlar. Bahar Yayınları.

Güllüce, H. (2002). Erzurumlu Şeyhülislam Musa Kazım ve Kur'an'ın i'cazı hakkındaki görüşleri. Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi, 19, 219.
Gürer, A. Ş. (2003). Gelenekle modernite arasında bir meşrutiyet şeyhülislâmı Mûsâ Kâzım Efendi [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi].
Gürer, A. Ş. (2010). İttihat ve Terakki'nin bir "fırka şeyhülislâmı" arayışı ve Mûsâ Kâzım Efendi'nin şeyhülislâmlığa getirilişi. Türkoloji Araştırmaları, 5(4), 1192.
Haydarîzâde İbrâhim Efendi. (1981). İslam mezhepleri ve tarikatları tarihi (E. Rekin, Çev.). Medrese Yayınevi.
Haydarîzâde İbrâhim Efendi. (1918, 5 Eylül). Emr bi'l-ma'rûf, nehy ani'l-münker. Sebîlürreşâd, 15, 66.
Haydarîzâde İbrâhim Efendi. (1918, 10 Ekim). Emr bi'l-ma'rûf, nehy ani'l-münker. Sebîlürreşâd, 15, 161.
İnal, İ. M. K. (1951). Osmanlı devrinde son sadrazamlar (Cilt 12). Millî Eğitim Basımevi.
İpşirli, M., & Beydilli, K. (2000). Haydarîzâde İbrâhim Efendi. İçinde Türkiye Diyanet Vakfı İslâm ansiklopedisi (Cilt 21, ss. 297–298). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.
Kara, İ. (2014). Türkiye'de İslâmcılık düşüncesi (Cilt 1). Dergâh Yayınları.
Kartal, E. (2024). Haydarîzâde İbrahim Efendi'nin Tasavvuf ve Sebîlürreşâd dergilerindeki tasavvuf içerikli makaleleri: İnceleme ve metin [Yüksek lisans tezi, Hakkâri Üniversitesi].
Kaya, K. (1996). Mustafa Sabri Efendi: Hayatı ve siyasi görüşleri [Yüksek lisans tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi].
Keskin, Ş. (1993). Son Osmanlı şeyhülislamlarından Mûsâ Kâzım Efendi (yaşamı, görüşleri, etkisi) [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi].
Koca, F. (2002). Şeyhülislam Mûsâ Kâzım Efendi'nin hayatı ve fetvâları. Rağbet Yayınları.
Koca, F. (2020). Mûsâ Kâzım Efendi. İçinde Türkiye Diyanet Vakfı İslâm ansiklopedisi (Cilt 31, ss. 221-222). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.
Mûsâ Kâzım. (1908, 15 Ekim). Hürriyet–müsâvât. Sırâtımüstakīm, 1, 119–120.
Mûsâ Kâzım. (1909, 8 Nisan). Redd-i ebâtîl. Sırâtımüstakīm, 2, 101–102.
Mûsâ Kâzım. (1909, 18 Şubat). Redd-i ebâtîl. Sırâtımüstakīm, 2, 407–408.
Mûsâ Kâzım. (1909, 3 Mayıs). Redd-i ebâtîl. Sırâtımüstakīm, 2, 118–120.
Mûsâ Kâzım. (1911, 30 Kasım). Beyânnâme. Sırâtımüstakīm, 7, 197–198.
Mustafa Sabri. (1919, 8 Mayıs). Dînî müceddidler yahud "Türkiye'nin necât ve i'tilâ yolları"nda bir rehber. Sebîlürreşâd, 16, 201.
Mustafa Sabri. (1919, 10 Temmuz). Dînî müceddidler yahud "Türkiye'nin necât ve i'tilâ yolları"nda bir rehber. Sebîlürreşâd, 17, 84.
Mustafa Sabri Efendi. (1994). Kadınla ilgili görüşüm ve bu görüşün Batı taklitçisi sözlerle karşılaştırılması (M. Yılmaz, Çev.). Esra Yayınları.
Yakıt, İ. (1999). Osmanlı ilmiye teşkilatı ve şeyhülislamlar. Süleyman Demirel Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 6, 45.
Yavuz, Y. Ş. (2020). Mustafa Sabri Efendi. İçinde Türkiye Diyanet Vakfı İslâm ansiklopedisi (Cilt 31, ss. 350-353). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

ESTIMATION OF FUTURE PHOTOVOLTAIC PANEL WASTE IN TÜRKİYE AND ASSESSMENT OF RECYCLING POTENTIAL WITHIN THE FRAMEWORK OF A CIRCULAR ECONOMY

Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University Vocational School of Technical Sciences, Electrical and Energy, Çorum, Türkiye,
ORCID ID: 0000-0003-4063-0456

ABSTRACT
Increasing solar energy investments in Türkiye will significantly increase the amount of waste resulting from PV panels that end their useful life, fail, or are damaged. Therefore, it is necessary to predict future PV waste and develop sustainable recycling strategies. This study aims to estimate the volume of PV panel waste in Türkiye under various scenarios—low, medium, and high—and to assess these findings from multiple viewpoints. Annual and cumulative waste quantities are calculated by correlating annual installed capacity estimates with the service life of the panels and various waste-generation mechanisms. In this context, the current number of panels in operation, the number of panels that have reached the end of their service life, faulty units, and panels that have been damaged due to an accident or disaster are analyzed in separate categories. Furthermore, the study examines the mass associated with each waste category, the total volume of waste, the proportions of recyclable versus non-recyclable materials, and the quantity of water consumed for panel cleaning. Furthermore, the study aims to determine the geographical distribution of PV panel waste and the regional requirements for waste management through regional analyses. The study utilizes actual data on Türkiye's installed solar energy capacity from 2014 to 2026 to generate projections up to the year 2040, based on low, medium, and high growth scenarios. However, the impacts of these installation volumes are analyzed through to approximately 2070. For the low, medium, and high scenarios, the cumulative waste volume for 2050 is estimated to be 439,593 tons, 1,892,252 tons, and 3,279,365 tons, respectively. Waste volumes rise significantly when the projection period is extended; under the high scenario, the amount reaches 3,855,631 tons by 2053, under the medium scenario, 4,295,729 tons by 2075, and under the high scenario, 5,183,775 tons by 2060. The findings are expected to contribute to forecasting Türkiye's future PV panel waste burden, planning recycling capacity, and advancing circular economy practices within the solar energy sector.
Keywords: Photovoltaic panel waste, scenario analysis, circular economy, photovoltaic module recycling, sustainable waste management.

TÜRKİYE'DE GELECEKTE OLUŞACAK FOTOVOLTAİK PANEL ATIKLARININ TAHMİNİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE GERİ DÖNÜŞÜM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET
Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarının artması; kullanım ömrünü tamamlayan, arızalanan veya hasar gören fotovoltaik (PV) panellerden kaynaklanan atık miktarını önemli ölçüde artıracaktır. Bu nedenle, gelecekte oluşacak PV atıklarını öngörmek ve sürdürülebilir geri dönüşüm stratejileri geliştirmek bir zorunluluktur. Bu çalışma, Türkiye'deki PV panel atığı hacmini düşük, orta ve yüksek olmak üzere çeşitli senaryolar altında tahmin etmeyi ve elde edilen bulguları farklı açılardan değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yıllık ve kümülatif atık miktarları;

yıllık kurulu güç tahminlerinin, panellerin kullanım ömrü ve çeşitli atık oluşum mekanizmalarıyla ilişkilendirilmesiyle hesaplanmıştır. Bu bağlamda; hâlihazırda kullanımda olan paneller, kullanım ömrünü tamamlamış paneller, arızalı birimler ve kaza ya da afet nedeniyle hasar görmüş panellerin sayısı ayrı kategoriler olarak incelenmektedir. Ayrıca çalışma; her bir atık kategorisine karşılık gelen kütleyi, toplam atık hacmini, geri dönüştürülebilir ve geri dönüştürülemez malzeme oranlarını ve panellerin temizliği için tüketilen su miktarını incelemektedir. Buna ek olarak çalışma, bölgesel analizler aracılığıyla PV panel atıklarının coğrafi dağılımını ve atık yönetimine dair bölgesel gereksinimleri belirlemeyi hedeflemektedir. Çalışmada, Türkiye'nin 2014-2026 yılları arasındaki kurulu güneş enerjisi kapasitesine ilişkin gerçek verilerden yararlanılarak, düşük, orta ve yüksek büyüme senaryolarına dayalı 2040 yılına kadar projeksiyonlar oluşturulmuştur. Bununla birlikte, söz konusu kurulum hacimlerinin etkileri yaklaşık 2070 yılına kadar analiz edilmiştir. Düşük, orta ve yüksek senaryolar için 2050 yılına kadar oluşacak kümülatif atık hacminin sırasıyla 439.593 ton, 1.892.252 ton ve 3.279.365 ton olacağı tahmin edilmektedir. Projeksiyon dönemi uzatıldığında atık hacimleri önemli ölçüde artmaktadır. Yüksek senaryoda miktar 2053 yılına kadar 3.855.631 tona, orta senaryoda 2075 yılına kadar 4.295.729 tona, yüksek senaryoda ise 2060 yılına kadar 5.183.775 tona ulaşmaktadır. Elde edilen bulguların; Türkiye'nin gelecekteki fotovoltaik (PV) panel atığı yükünün tahmin edilmesine, geri dönüşüm kapasitesinin planlanmasına ve güneş enerjisi sektöründe döngüsel ekonomi uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.
Anahtar kelimeler: Fotovoltaik panel atıkları, senaryo analizi, döngüsel ekonomi, fotovoltaik modül geri dönüşümü, sürdürülebilir atık yönetimi.

1. INTRODUCTION

The rise in global energy demand, the necessity of combating climate change, and the goal of reducing dependence on fossil fuel sources have accelerated the adoption of renewable energy technologies, particularly solar energy systems. However, the growth in installed photovoltaic (PV) capacity has brought about a significant challenge: the waste generated by PV panels that reach the end of their service life or are decommissioned prematurely for various reasons (IRENA and IEA-PVPS, 2016).

PV modules consist of a variety of materials, including glass, aluminum, polymers, semiconductors, and electrically conductive components. Recovering these materials is crucial for reducing the demand for primary raw materials, reintegrating resources into the economy, and limiting the volume of waste. As the installed solar energy capacity in Türkiye continues to grow, an increase is also expected in the amount of waste originating from PV panels that have reached the end of their lifespan, have malfunctioned, or have been damaged due to accidents or natural disasters. Consequently, waste projections must account for changes in installed capacity, the expected service life of the panels, and the factors contributing to premature decommissioning. Furthermore, determining the regional distribution of this waste is essential for planning collection and transportation processes and for developing recycling infrastructure. Abdurakhmanov and Ochildiev (2024) evaluated PV panel waste in Uzbekistan, considering factors such as the end of the panels' operational lifespan, operational failures, and damage resulting from extreme weather events. For Uzbekistan, they estimated that annual waste resulting from operational failures would reach 119.85 tons by 2030, and approximately 15,419–66,394 tons annually between 2047 and 2053. Furthermore, they estimated that extreme wind events could generate a maximum of 1,224 tons of PV panel waste over a 25-year operational period. They also highlighted that the cleaning of PV panels could lead to

significant water consumption. It should be noted that the data in their study represent annual waste projections based on the installation plans and calculation assumptions outlined in the paper, rather than a comprehensive estimate of all PV waste that might be generated in the country during those years.

Aşkın et al. (2023) addressed the management of waste PV panels within the framework of a circular economy approach, identifying the primary barriers to recycling, regulatory aspects, and coordination challenges among stakeholders throughout the life cycle. Several studies have already been conducted to estimate the future volume of PV panel waste in Türkiye (Coşkun Gül, 2024; Koçkaya, 2025). Coşkun Gül (2024) developed a model to determine the future volume of PV panel waste in Türkiye and to evaluate the environmental and economic implications of recycling this waste. The study models "early failure" and "regular end-of-life" scenarios using the Weibull function, based on projected installed capacity data for the years 2024, 2035, and 2053. The results indicate that the amount of PV panel waste in Türkiye by 2053 is estimated to range between 1,605,835 and 2,499,928 tons, depending on the scenario. In the second phase of the study, the recycling of the projected waste stream was evaluated using the Full Recovery End-of-Life Photovoltaic Project (FRELP) method, and cost-benefit analyses were conducted for the reference years. The findings suggest that an increase in the projected volume of waste could also enhance the net economic benefit derived from recycling (Coşkun Gül, 2024). Koçkaya (2025) developed a two-stage model to estimate future PV panel waste in Türkiye up to the year 2050. In the first stage, Türkiye's installed solar energy capacity was projected using artificial neural networks (ANN) and multiple regression analysis; in the second stage, the resulting capacity loss estimates were converted into quantities of panel waste. The calculations were based on assumptions of a nominal power of 510 W per panel and an average mass of 32 ± 5% kg, while accounting for losses resulting from both the end of the panels' operational lifespan and premature failures. According to the results, the projected installed solar power capacity for the year 2050 is calculated to be 60,680 MW using the artificial neural network (ANN) model, and 70,552 MW using the multiple regression model. The total amount of PV panel waste estimated for the same year is 630,778 tons and 660,579 tons, respectively. The author reports that, based on an evaluation using test data, the ANN model yielded more successful results compared to the multiple regression model (Koçkaya, 2025).

The discrepancy between Koçkaya's estimate of 630,778–660,579 tons for the year 2050 and Coşkun Gül's estimate of 1,605,835–2,499,928 tons for 2053 cannot be explained solely by the three-year difference in the timeframes. These variations may stem from methodological factors, such as the projections for installed capacity, the assumptions adopted regarding the service life of PV panels, and scenarios concerning premature decommissioning. Furthermore, the scope of waste types included in the calculations—as well as the distinction between annual waste generation and the cumulative volume of waste—can significantly influence the results. Therefore, when comparing these estimates, it is essential to consider not only the final figures but also the methodologies employed, the underlying assumptions, and the scope of the waste calculations.

2. THE SIGNIFICANCE OF THE ISSUE

The rapid expansion of PV installations worldwide is expected to result in substantial amounts of end-of-life PV panel waste in the coming decades. Fig. 1 presents the cumulative volume of PV panel waste projected for 2050 in countries expected to generate the largest amounts of such waste, based on data from a 2016 study. In the "early loss" scenario, China ranks first with approximately 20 million tons, followed by the United States (10 million tons), Japan (7.5

million tons), Germany (7.5 million tons), and India (4.3 million tons). In the "regular loss" scenario, the projected waste volumes are approximately 13.5 million tons for China, 7.5 million tons for the United States, 6.5 million tons for Japan, 4.5 million tons for Germany, and 4.4 million tons for India. These results indicate that countries with high installed PV capacity will generate significant quantities of PV waste in the future, necessitating effective recycling strategies. The figure also illustrates that, between 2016 and 2050, the global volume of PV panel waste rises rapidly in parallel with the growth in installed PV capacity. Global installed PV capacity is shown to increase from 270 GW in 2016 to 1,630 GW by 2030 and 4,500 GW by 2050. Consequently, the cumulative volume of PV waste is expected to grow from 43,500 tons to 60 million tons under the "regular loss" scenario, and from 250,000 tons to 78 million tons under the "early loss" scenario. The results indicate that the widespread adoption of PV technologies will lead to the generation of vast quantities of PV waste in the future, making the development of effective recycling systems critically important.

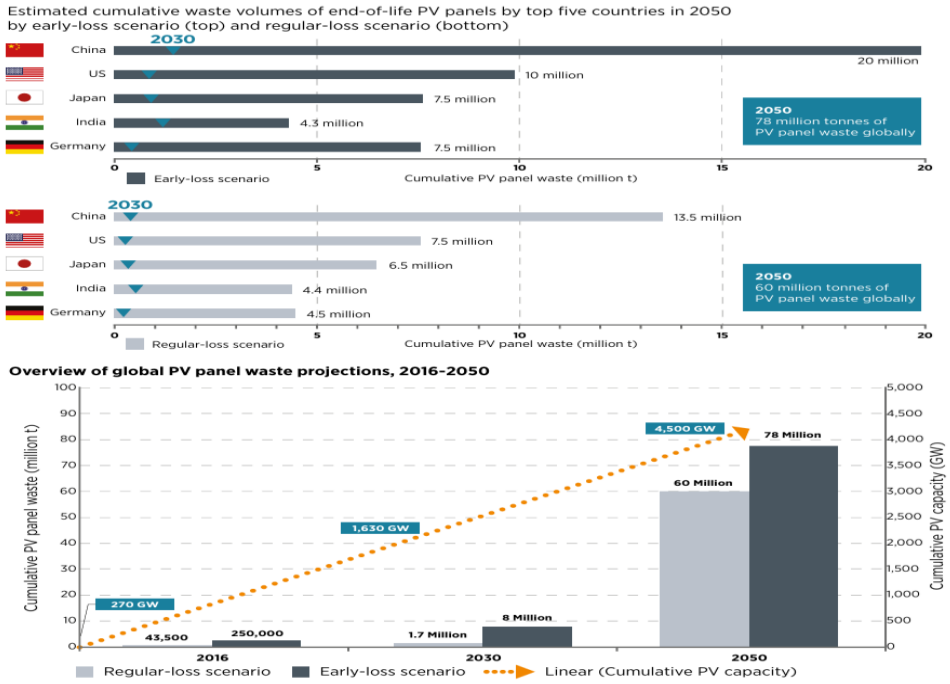


Fig. 1. Projected global accumulation of end-of-life PV panel waste (2016-2050) and estimated waste volumes in the top five countries under regular-loss and early-loss scenarios in 2050.

3. THE CONTRIBUTION AND INNOVATION OF THE STUDY

The primary objective of this study is to estimate the future volume of PV panel waste in Türkiye under various installed capacity growth scenarios and to evaluate the findings within the framework of a circular economy. To this end, projections up to 2040—categorized as low, medium, high, and Koçkaya (2025) scenarios—are developed based on installed capacity data for the 2014–2026 period, as published by the Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ) (TEİAŞ, 2026). Panel waste is classified according to the cause—end-of-life, technical failures, or damage resulting from accidents or disasters—and calculations are performed for the number of panels in service annually, the number of panels becoming waste for various reasons, and the corresponding mass of this waste. Furthermore, the study examines annual and cumulative total waste quantities, the distinction between recyclable and non-recyclable waste,

the volume of water used for panel cleaning, and the regional distribution of the waste.
While existing research in Türkiye addresses future PV panel waste volumes and recycling potential, more comprehensive studies are needed that integrate waste-generation drivers, annual and cumulative waste quantities, resource-recovery potential, and regional distribution. This study aims to contribute to the field by linking different installed-capacity scenarios to waste-generation sources and evaluating waste volumes alongside their recovery potential. Thus, the research is expected to go beyond merely quantifying the volume of future PV panel waste, contributing instead to the planning of sustainable waste management and recycling infrastructure in Türkiye, the development of long-term strategies, and the promotion of circular economy practices within the renewable energy sector.

4. MATERIAL AND METHOD

4.1. Annual new installations:

New installed capacities:

$\Delta C(y) = C(y) - C(y-1)$; $C(2013) = 0$ for (2014–2025) (1)

$\Delta C(y)$ = annual installation for (2026–2035) (2)

$\Delta C(y)$ = installation for the 2036–2040 period under the for (2036–2040). (3)

Cumulative installed capacity is:

$C(y) = \Sigma\, \Delta C(i),\ i \leq y$ (4)

Number of panels:

$N(y) = \Delta C(y) 10^6 k / P_{W(y)}$ (5)

The cumulative values for 2014–2025—that is, the input data—are sourced from TEİAŞ (2026). Panel power $P_{W(y)}$ is defined as 240 W for 2014 (initial modules ranged from 230–250 W; Çağatay, 2024) and 550 W for the period from 2023 onwards (current panel capacities range from 540–555 W). Values for the intervening years are derived via interpolation, calibrated to reach an average of approximately 450 W by the end of 2024. A DC/AC ratio (k) of 1.2 is applied; in Türkiye, project proposals typically utilize a ratio of 1.2 or 1.25–1.3. Furthermore, the Regulation on Unlicensed Electricity Generation stipulates that the mechanical installed capacity must not exceed twice the electrical installed capacity (Official Gazette, 2019). Official statistics on installed capacity may be based on AC (electrical) capacity; if they are based on DC capacity, a ratio of k = 1.0 may be assumed.
Regional shares are applied as constants relative to the total panel stock and time. Since unlicensed power plants account for approximately 91% of the total installed capacity, this approach is reasonable; however, the distribution of licensed (YEKA) power plants may differ. The installed PV capacity by region indicates the geographical distribution of the panel stock that could potentially become waste. The data represents the province-based installed capacity of unlicensed solar power plants (SPPs), sourced from a GENSED table included in the EMRA (Energy Market Regulatory Authority) Electricity Market Sector Report for July 2025 (GENSED, 2025).
Regional share (unlicensed): Central Anatolia 28.7%; Aegean 19.2%; Mediterranean 16.0%; Southeastern Anatolia 13.0%; Marmara 10.1%; Eastern Anatolia 7.7%; Black Sea 5.3% (Çorum 296 MW). The top 5 provinces (Konya, Gaziantep, Ankara, Kayseri, İzmir) account for 26.1% of the total.

4.2. Deployment scenarios for the post-2026 period:

Annual installation for a given scenario:

$r_s = (T_s - C(2025))/10$ (6)

High-scenario 2035 target:

$T_{high} = C(2025) + 10(\text{avg}(\Delta C(2023–2025)))$ (7)

Installation for the selected scenario is the r_s value of the selected scenario. Installation for 2036–2040 is default (same as the r_s).
The scenario targets are as follows:
Low T = 52,900 MW (National Energy Plan, 2023) (RTMENR, 2023), Medium T = 77,000 MW (Long-Term Climate Change Strategy, ~77 GW, RTMEUCC, 2024), High T ≈ 80,931 MW (assuming the installation rate of the last three years continues).

4.3. PV panel cleaning frequency and recycling

In the model, the annual cleaning frequency can be selected from options such as once every 2 years, once a year, twice a year, four times a year, once a month, or twice a month. The recycling rate is defined as $\rho = 0.90$ (input) (Çağatay, 2024).

4.4. Scenario calculations

Stock of panels in service:

$$S(t) = \Sigma N(y)\,[y < t] - \Sigma N(y)\,[y < t - L] \quad (8)$$

Total waste panels:

$$W(t) = E(t) + F(t) + Q(t) \quad (9)$$

Panels damaged by accidents/disasters:

$$Q(t) = (S(t) - E(t))r_a \quad (10)$$

The probability of strong winds is given by the equation below. Rather than using this directly, the annual accident/disaster damage rate, r_a, is taken as an input instead.

$$P = n/N \quad (11)$$

Total waste mass M(t) is calculated for each year as follows:

$$M(t) = M_{EL(t)} + M_{accident(t)} + M_{fail(t)} \quad (12)$$

End-of-life waste (tons):

$$M_{EL(t)} = mE(t)/1000 \quad (13)$$

End-of-life panels:

$$E(t) = N(t-L) \quad (14)$$

Accident-related waste (tons):

$$M_{accident(t)} = mQ(t)/1000 \quad (15)$$

Failure-related waste is calculated as follows:

$$M_{fail(t)} = mF(t)/1000 \quad (16)$$

$$F(t) = (S(t)-E(t))r_f \quad (17)$$

Cumulative waste (tons):

$$K(t) = \Sigma M(i),\ i \leq t \quad (18)$$

Cleaning water (m^3/year):

$$V(t) = wS(t)nA/1000 \quad (19)$$

Recyclable waste (tons):

$$R(t) = M(t)\rho \quad (20)$$

Non-recyclable waste (tons):

$$U(t) = M(t)-R(t) \quad (21)$$

Instead of a fixed number of panels, the model uses a stock of panels in service that changes annually, with panels that have reached the end of their lifespan removed from the count due to failures or accidents.

4.5. Assumptions

The underlying assumptions for the low, medium, and high scenarios used in PV panel waste projections are presented in Table 1. These have been developed based on general premises and sources listed in the references. The assumptions from the study by Koçkaya (2025) are also included in the table for comparison. In these scenarios, the panel lifespan is defined as 20–30

years, the annual failure rate as 0.05%–0.20%, and the panel mass as 17–32 kg. Tested ranges: lifespan 20-30 years; failure rate 0.05%-0.20%; accident rate 0.005%-0.05%; mass 17-32 kg; DC/AC 1.0-1.3; panel power range ±20%; installation scenario: low to high. Furthermore, the frequency of panel cleaning and the water consumption per unit area are varied across the scenarios to evaluate the impact of different conditions on waste generation and cleaning-water requirements. Panels become waste at the end of their full lifespan. The replacement of faulty panels with new ones is not modeled as a separate installation process. The accident/disaster rate is treated as a single national parameter; no regional analysis of risks such as hail or wind has been conducted. The regional panel stock is based solely on unlicensed (distributed) capacity and remains constant over time. The climatic loss factor is set at 0.0012%, based on Koçkaya (2025) and Abdurakhmanov and Ochildiev (2024). The recyclability rate is set at 90%. In Türkiye, both the actual recycling infrastructure and the collection rate are low. Estimates for PV installations have been projected up to the year 2040, and the impacts of these installation volumes are analyzed through to approximately 2070.

Table 1. The scenario assumptions used.

Parameter	Unit	Low	Medium	High	Koçkaya (2025)
Panel lifespan	year	30	25	20	25
Annual failure rate	%/year	0.050%	0.100%	0.200%	0.100%
Annual damage rate due to accidents/disasters (hail, wind, etc.)	%/year	0.0050%	0.0200%	0.0500%	0.0012%
Panel mass	kg	17.0	27.0	32.0	32.0
Panel surface area	m²	2.58	2.58	2.58	2.58
Cleaning water (per wash)	L/m²	0.3	3.0	3.5	3.0
Washing frequency (select from the list)	-	2 yılda 1	Yılda 1	Yılda 4	Yılda 1
Annual number of washes (calculated)	units/year	0.5	1.0	4.0	1.0
Proportion of recyclable mass	%	90%	90%	90%	90%
Panel power, fixed (or "Installation series" if left blank)	W				510
Uncertainty in panel mass (±, relative)	%				5%

Fig. 2 shows the current cumulative solar PV installed capacity (MW). In Türkiye, the cumulative installed solar power capacity has shown significant growth, rising from 40.2 MW in 2014 to 25,926.7 MW in 2025. The increase observed, particularly in recent years, demonstrates a rapid expansion in the capacity of solar energy for electricity generation. However, this growth in installed capacity also points to a potential rise in the volume of PV panels reaching the end of their operational lifespan, thereby underscoring the importance of effective waste management and recycling strategies. As this study was conducted at the end of October 2026, the PV capacity for the year 2026 has not been included.

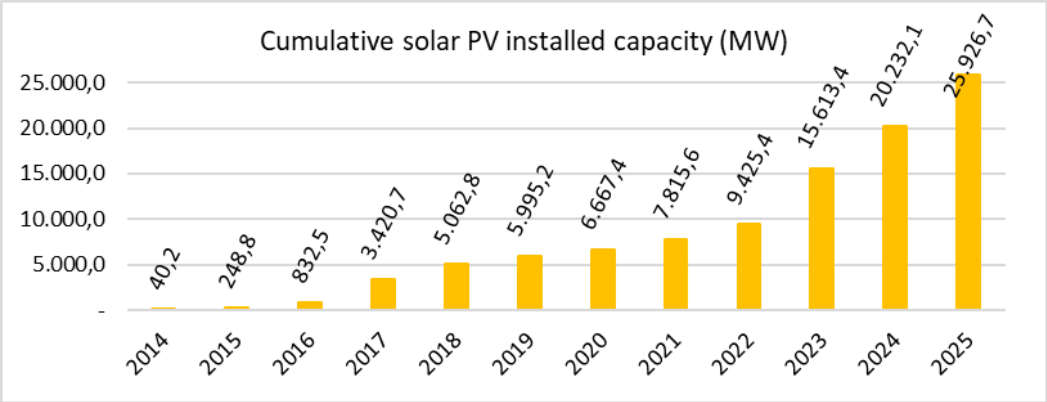


Fig. 2. Current cumulative solar PV installed capacity (MW) (TEİAŞ, 2026).

4.6. Sensitivity Analysis

Based on a "base case" scenario with median waste parameters and a chosen installation scenario, this is a single-parameter sensitivity analysis. One parameter is changed to its low and high values in each row, leaving the remaining parameters at their initial values. In order to guarantee that non-linear effects, such as those pertaining to panel lifespan and the installation situation, are also appropriately taken into consideration, the sensitivity calculation is carried out independently for each component (installed panels, panels in service, end-of-life panels, and total waste).

5. RESULT AND DISCUSSION

This section depicts the estimated waste generation from PV panels in Türkiye under various scenarios, taking into account end-of-life panels, operational failures, and damage from accidents. The estimates also evaluate the yearly water requirement for panel cleaning as well as the possible amounts of recyclable and non-recyclable waste.

In 2040, the installed capacity for solar power plants (SPPs) is projected to be 66,386 MW under the low-growth scenario and 108,433 MW under the high-growth scenario. In Türkiye's 2040 Vision document, published two days prior to the presentation of this study, the target for installed solar power capacity is set at 112 GW (RTMENR, 2026). In this respect, it can be said that the scenarios presented in this study are consistent. Fig. 3 presents a projection of PV panel waste quantities in Türkiye—broken down into recyclable and non-recyclable waste—as well as the demand for water for panel cleaning over the coming years, based on a "low" scenario. The projection indicates that waste generated from panels reaching the end of their service life will become significant, particularly from the mid-2040s onwards, while the demand for water for panel cleaning will initially rise in line with installed capacity before subsequently declining in later years. Waste quantities are influenced by scenario assumptions, such as the service life of the panels, failure and damage rates, and the frequency of cleaning. Fig. 4 presents data for the medium scenario. It can be observed that the volume of PV panel waste begins to increase significantly after 2040. The total annual waste volume reaches its peak between 2041 and 2050, driven primarily by panels reaching the end of their service life. While waste resulting from malfunctions and accidents accounts for a smaller share of the total, end-of-life waste emerges as the dominant source. Fig. 5 presents data for the high scenario. The results indicate that PV waste increases rapidly, particularly after 2035, with end-of-life panels emerging as the primary source of total waste generation. The cumulative volume of waste rises steadily, reaching approximately 5.2 million tons by the end of the period. In parallel, the demand for water for panel cleaning also increases, peaking in the early 2040s before gradually declining.

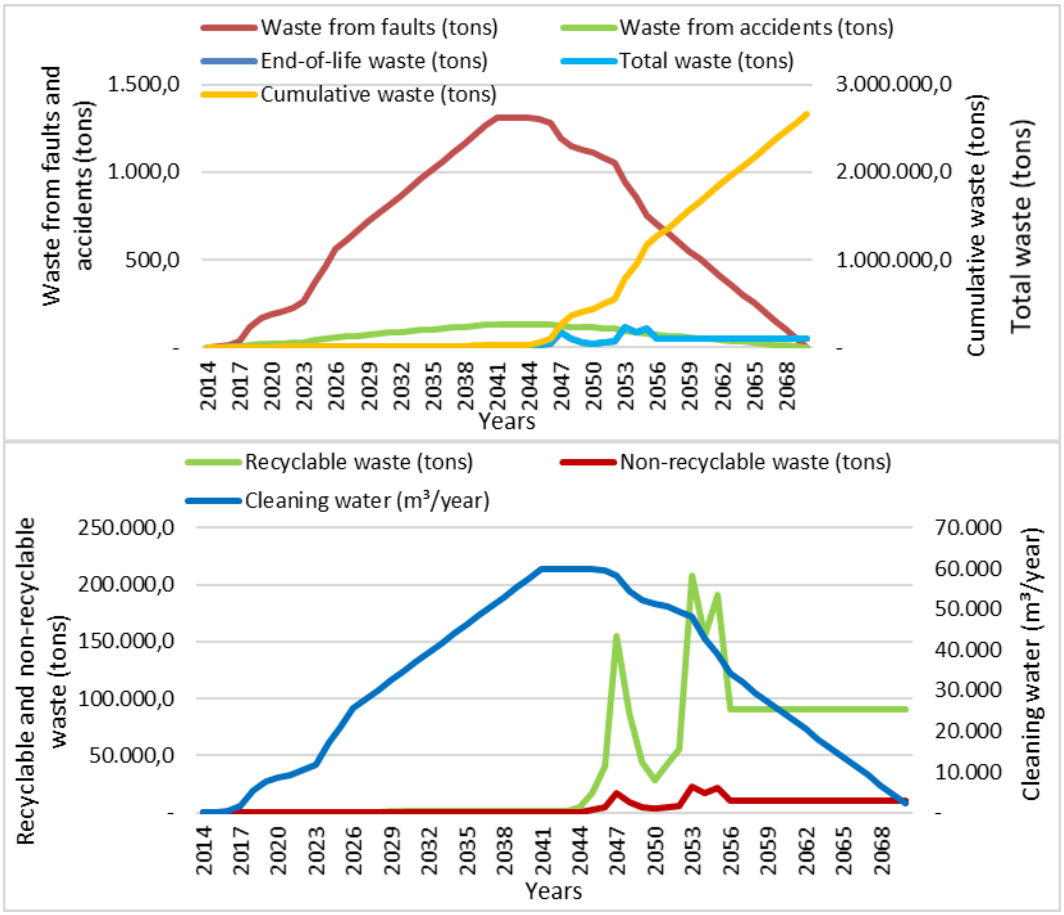
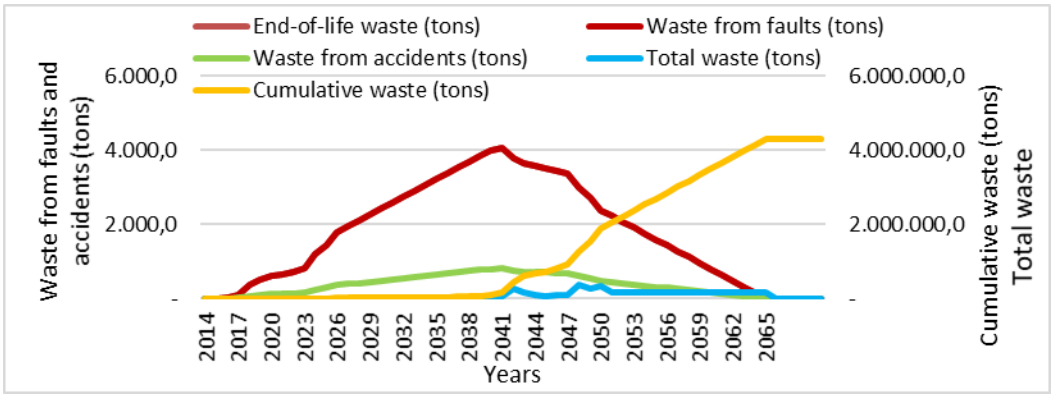


Fig. 3. Predicted annual changes in PV panel waste and the demand for panel-cleaning water in Türkiye under the "low" scenario.



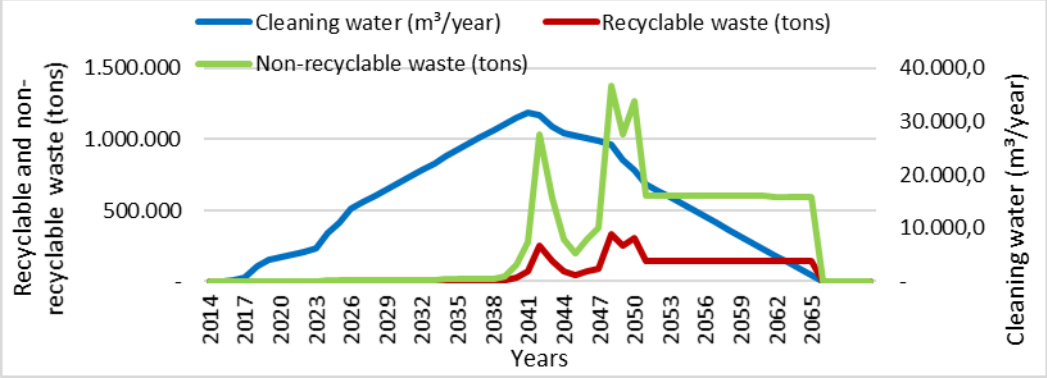


Fig. 4. Predicted annual changes in PV panel waste and the demand for panel-cleaning water in Türkiye under the "medium" scenario.

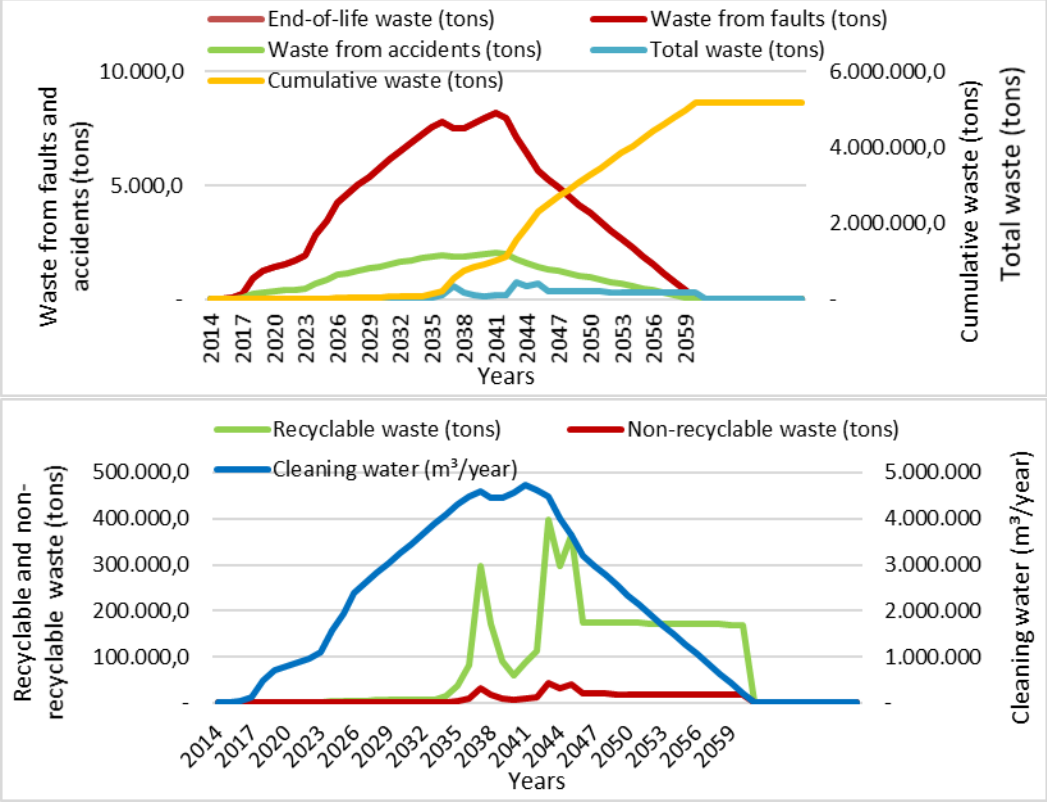


Fig. 5. Predicted annual changes in PV panel waste and the demand for panel-cleaning water in Türkiye under the "high" scenario.

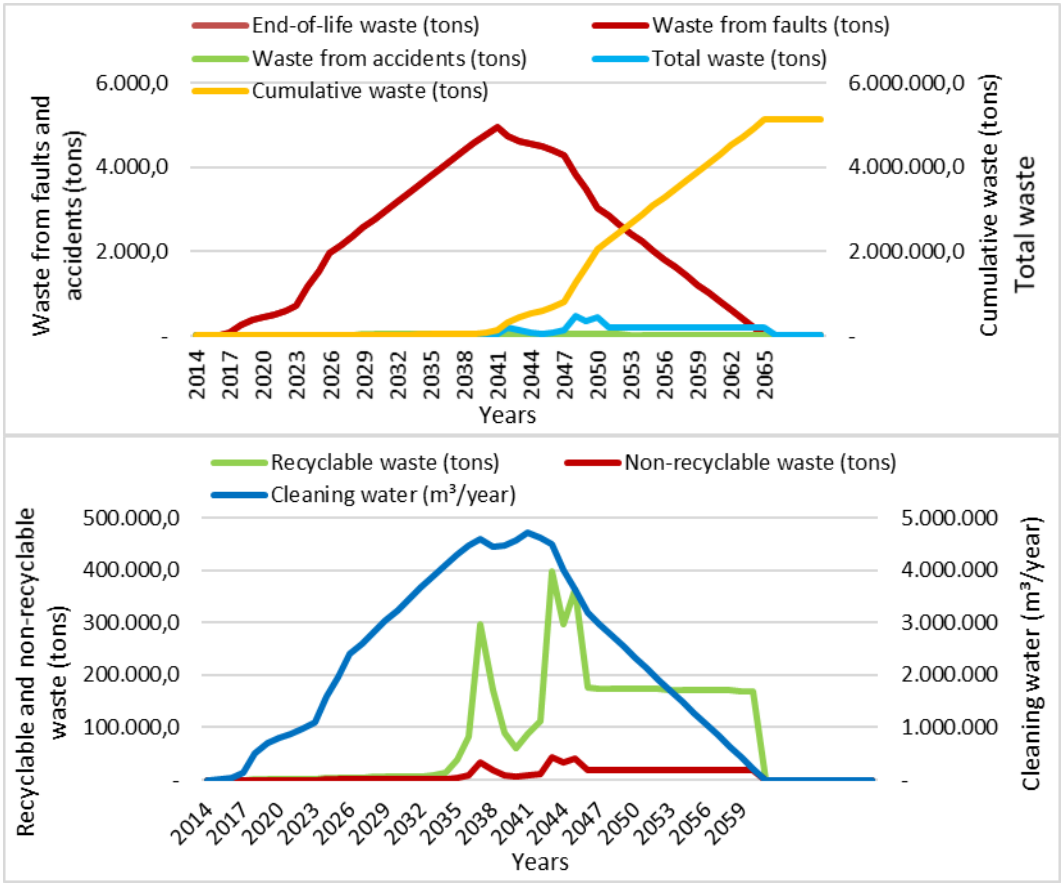


Fig. 6. Predicted annual changes in PV panel waste and the demand for panel-cleaning water in Türkiye under the "Koçkaya (2025)" scenario.

Fig. 7 presents a comparison between the annual PV waste quantities calculated for low, medium, and high scenarios and the PV waste projections reported by Koçkaya (2025). An examination of Fig. 7 reveals that PV waste generation increases significantly after 2035, reaching peak values of varying magnitudes depending on the scenario. The max waste quantities for the low, medium, and high scenarios are 230,552 tons/year (2053), 441,892 tons/year (2043), and 368,114 tons/year (2048), respectively. Analysis of the data from Koçkaya (2025) shows that waste quantities rise rapidly, particularly between 2047 and 2050, reaching a level of approximately 469,783 tons/year (2048). In the analysis made based on the assumptions in Koçkaya (2025), it was estimated that the highest amount of waste would be generated. All these scenarios show that the increase in PV system installations will lead to a significant amount of panel waste in the coming years.

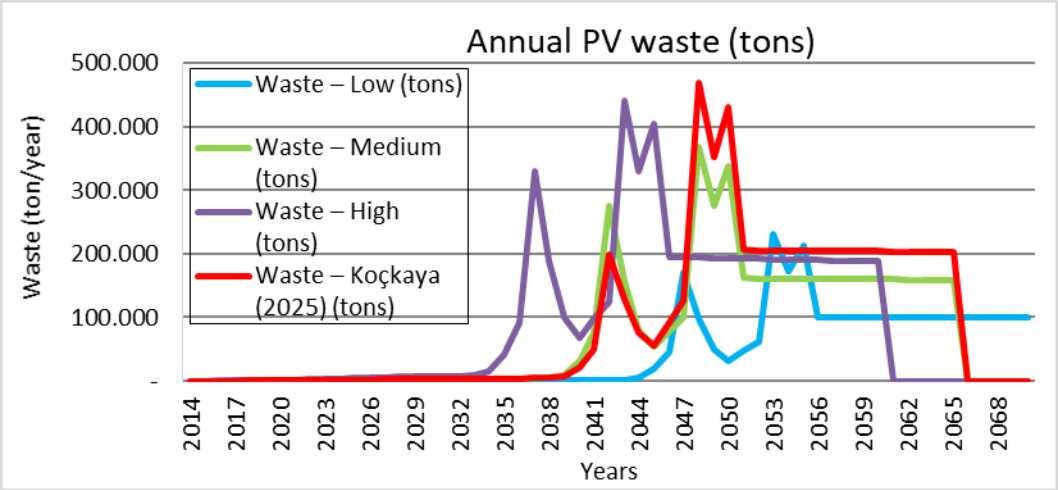


Fig. 7. Summary of annual PV waste quantities under different scenarios.

Fig. 8 illustrates the annual water requirement for panel cleaning over time, according to various PV waste scenarios. It can be observed that the annual water consumption required for cleaning PV panels increases over time in line with the growth in installed PV capacity, eventually reaching a peak before declining. The water consumption for the high, medium, and low scenarios is approximately 4.7 million m³/year, 1.18 million m³/year, and 0.0598 million m³/year, respectively. In all scenarios, the rapid increase in water demand during the 2040s can be attributed to the intensive growth in PV system installations during that period.

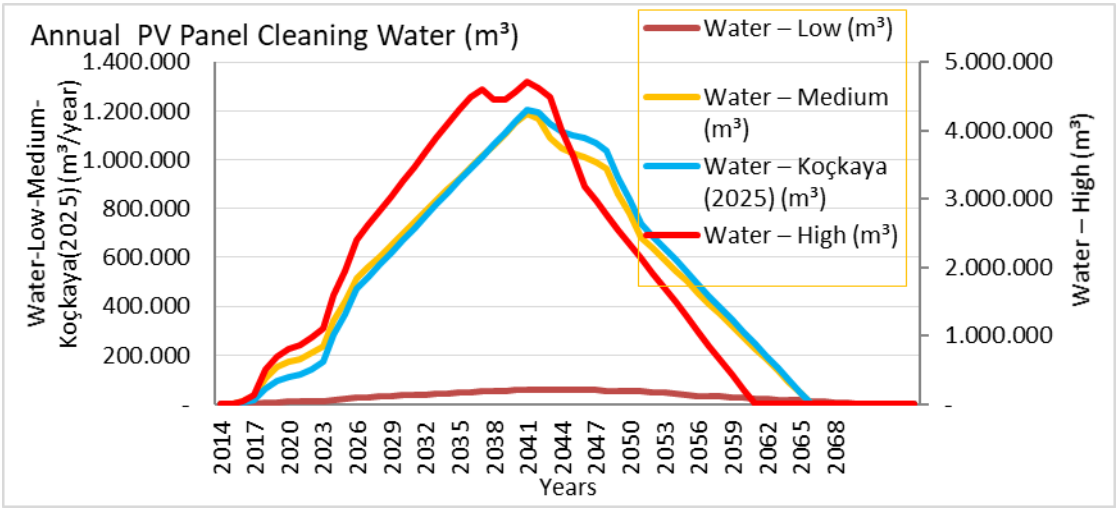


Fig. 8. Annual water requirement for panel cleaning based on different PV waste scenarios.

PV modules are composed of various materials, including glass, aluminum, polymers, semiconductor materials, and electrical conductive components. Some of these components can be recovered using appropriate technologies and reintegrated into manufacturing processes. In a crystalline silicon-based (c-Si) PV panel, silver accounts for the largest share at 47%, followed by aluminum at 26%. The shares of the other components are silicon (11%), copper (8%), and glass (8%). These results indicate that the recovery of silver and aluminum, in particular, is economically critical within recycling processes (IRENA and IEA-PVPS, 2016). Given that a typical crystalline silicon (c-Si) panel contains, on average, approximately 6–10 grams of silver,

there is a clear dependency on this material (IRENA and IEA-PVPS, 2016); as of 2014, the PV industry was consuming approximately 3.5% to 15% of global silver production (Berry, 2014; Marini et al., 2014). However, according to the International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) study (Raithel, 2014), a significant reduction in the amount of silver used in solar cells was projected for 2018, driven by inkjet printing and screen-printing technologies. Managing PV panel waste in Türkiye through a circular economy approach can enhance raw material efficiency and reintegrate recovered materials into production processes. This, in turn, can foster employment opportunities and contribute to a more livable world by reducing environmental impacts. Furthermore, the process can be accelerated through economic incentives, mechanisms that promote recyclability, and the development of recycling infrastructure.

Fig. 9 shows the results of the sensitivity analysis. It is observed that the magnitude of the annual waste peak is primarily influenced by variables that determine the mass per panel and the total number of panels (such as mass, panel power, and DC/AC ratio). The lifespan of the panels affects the timing of this peak—shifting it between 2043 and 2053—rather than its magnitude. While the installation scenario does not alter the peak (which originates from the 2023 cohort), it significantly impacts the cumulative waste (resulting in a 33.8% reduction under the "low" scenario). In the Koçkaya (2025) scenario, the mass range is 30.4–33.6 kg per panel, and the peak waste volume is estimated to be between 448,911 and 496,165 tons.

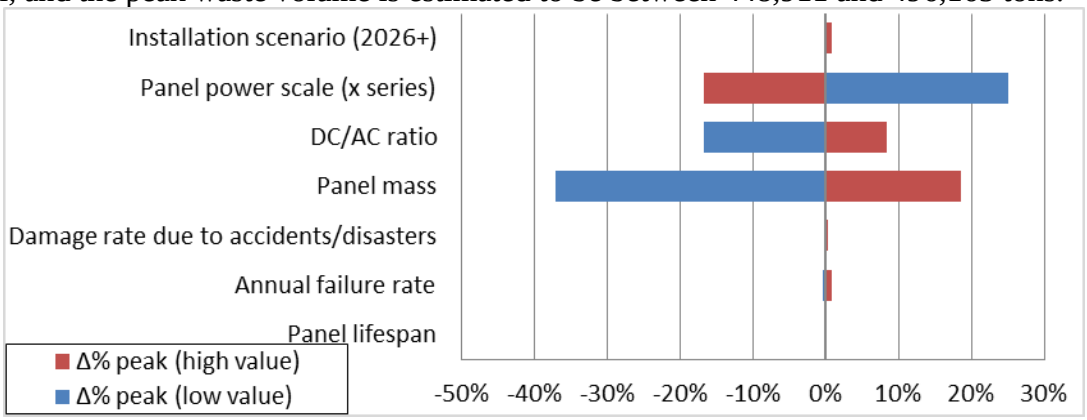


Fig. 9. Sensitivity of peak annual waste (Δ%).

Fig. 10 compares the projected PV waste quantities for Türkiye and its various geographical regions for the years 2030, 2040, 2045, 2048, 2050, and 2060, under low, medium, high, and Koçkaya (2025) scenarios. In all scenarios, PV waste quantities are shown to increase over time, with the highest values observed for Türkiye as a whole. Under the low scenario, the total PV waste in Türkiye reaches approximately 100,000 tons by 2060, while this figure rises to 160,000 tons in the medium scenario and 190,000 tons in the high scenario. The Koçkaya (2025) scenario presents the highest waste projections. In the high scenario, the total PV waste in Türkiye is projected to reach approximately 405,000 tons by 2045. Regarding regional distribution, the Central Anatolia Region emerges as having the highest PV waste potential across all scenarios. Central Anatolia is generally followed by the Aegean and Mediterranean regions, while the Black Sea and Eastern Anatolia regions show lower waste quantities. The results indicate that recycling and waste management infrastructure should be prioritized in regions with high PV installation density, most notably in Central Anatolia.

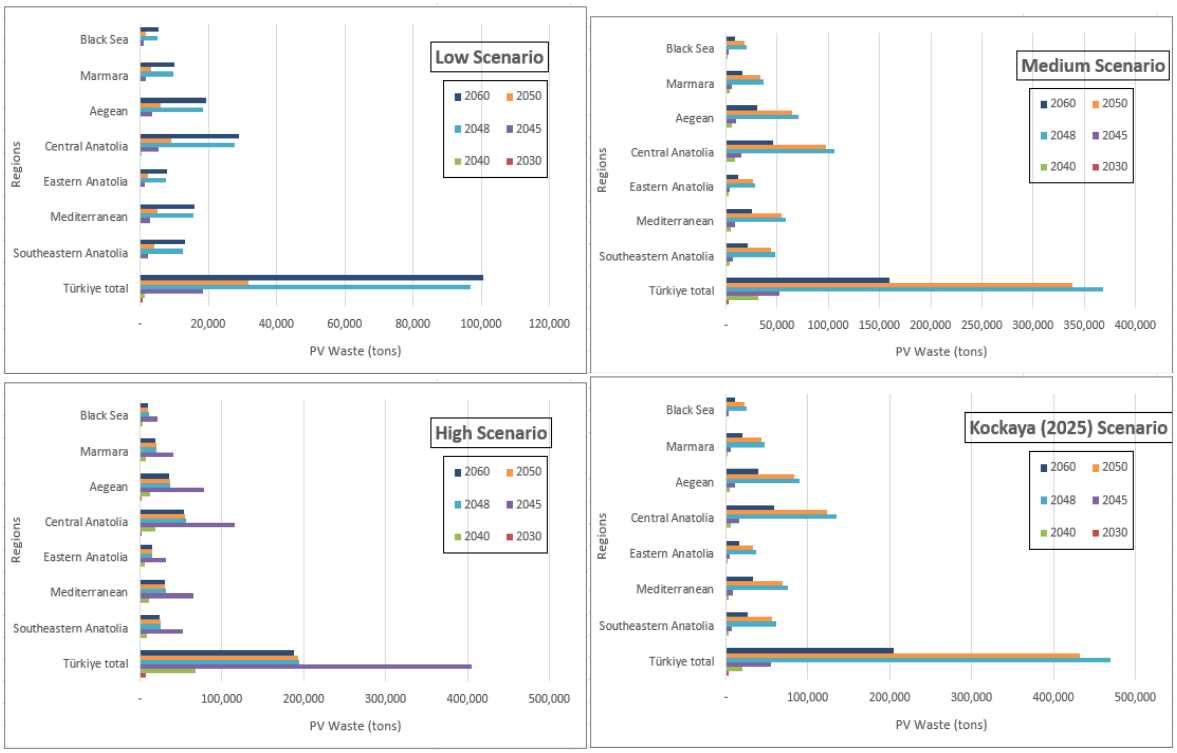


Fig. 10. Annual distribution of PV waste quantities by region under different scenarios.

6. COMPARISON OF DATA

IRENA and IEA-PVPS (2016) have projected that the volume of waste generated by end-of-life PV panels in Türkiye will experience exponential growth over the coming years. Under the "regular loss" scenario, the amount of PV waste—which stood at only 30 tons in 2016—is expected to reach 1,500 tons by 2030, 20,000 tons by 2040, and 200,000 tons by 2050. In the "early loss" scenario, this growth is even more pronounced, with the volume of waste rising from 70 tons in 2016 to 400,000 tons by 2050. Both scenarios indicate a significant acceleration in the rate of waste generation, particularly after 2030. This trend can be attributed to the aging of PV systems installed in Türkiye in previous years and the fact that a large number of PV modules will reach the end of their operational lifespan in the near future. The findings—especially the projections for 2050—suggest that PV waste will become a major environmental and economic issue in the years to come.

A comparison of the current study with the literature is presented in Table 2. Estimates regarding future PV panel waste in Türkiye vary significantly depending on the methods and assumptions employed. IRENA and IEA-PVPS (2016) projected 200,000 and 400,000 tons of waste for the year 2050, based on "regular" and "early" retirement scenarios, respectively. Koçkaya (2025), utilizing artificial neural networks and multiple regression models, estimated a range of 630,778–660,579 tons of waste for the same year, while Coşkun Gül (2024) calculated a range of 1,605,835–2,499,928 tons for the year 2053, based on scenarios derived from the Weibull function. These discrepancies among estimates may stem from methodological factors, such as projections for installed capacity, assumptions regarding panel lifespan, and the criteria for early retirement. In the current study, it is observed that the cumulative volume of PV waste increases significantly as the projection period progresses. For the year 2050, the cumulative waste volume is calculated at 439,593 tons, 1,892,252 tons, and

3,279,365 tons for the low, medium, and high scenarios, respectively. Extending the projection period leads to substantial increases in waste volumes; under the high scenario, the figure reaches 3,855,631 tons by 2053, while under the medium scenario, it reaches 4,295,729 tons by 2075, and under the high scenario, it reaches 5,183,775 tons by 2060. Consequently, when comparing these results, it is essential to consider not only the target years but also the specific models used and the scope of the waste calculations.

Overall, it is evident that the number of panels reaching the end of their service life is rising rapidly, in parallel with the growth in installed PV capacity. The results, particularly those from the high scenario, indicate that millions of tons of PV waste could be generated in the future, necessitating the strengthening of infrastructure for recycling, reuse, and resource recovery to manage this waste effectively. These findings underscore that PV waste management will be a critical component of long-term energy and environmental policies.

Table 2. Comparison of literature.

Refs.	Projection year	Scenario/method	Cumulative waste amount (tons)
IRENA and IEA-PVPS (2016)	2050	Regular loss	200,000 tons
IRENA and IEA-PVPS (2016)	2050	Early loss	400,000 tons
Koçkaya (2025)	2050	Artificial neural networks	630,778 tons
Koçkaya (2025)	2050	Multiple regression	660,579 tons
Coşkun Gül (2024)	2053	Regular loss scenarios	1,605,835 tons
Coşkun Gül (2024)	2053	Early loss scenarios	2499,928 tons
This study	2050	Low scenario	439,593 tons*
This study	2050	Medium scenario	1,892,252 tons*
This study	2050	High scenario	3,279,365 tons*
This study	2053	Low scenario	780,164 tons*
This study	2053	Medium scenario	2,376,380 tons*
This study	2053	High scenario	3,855,631 tons*
This study	2075	Low scenario	2,670,935 tons*
This study	2075	Medium scenario	4,295,729 tons*
This study	2060	High scenario	5,183,775 tons*

Note 1: The cumulative waste amount refers to the total waste accumulated up to the specified year; it should not be confused with the annual waste generated in that particular year. When comparing estimates, the scope of waste calculation and the underlying assumptions of each study must be taken into account.
*Note 2: The amount of PV waste generated by installations up to the year 2040.

7. CONCLUSION

This study evaluates the future generation of PV panel waste in Türkiye under low, medium, and high installation scenarios and examines the associated demand for water used in panel cleaning.

- It demonstrates that the rapid growth in PV installations will lead to a significant surge in end-of-life PV waste over the coming decades. It has been determined that end-of-life panels constitute the dominant share of annual waste generation, while waste resulting from malfunctions and accidents accounts for a relatively smaller portion.
- Comparisons with previous studies indicate that the projected waste volumes fall within the range of values found in the existing literature, confirming the growing importance of PV

waste management in Türkiye.

- The cumulative volume of PV waste is projected to reach approximately 2.67 million, 4.30 million, and 5.18 million tons under the low, medium, and high scenarios, respectively.
- The cumulative amount of waste for the year 2050 is estimated to be 439,593, 1,892,252, and 3,279,365 tons for the low, medium, and high scenarios, respectively. In the high scenario, the amount reaches 3,855,631 tons by 2053; in the medium scenario, it reaches 4,295,729 tons by 2075; and in the high scenario, it reaches 5,183,775 tons by 2060.
- It is evident that the annual volume of water required for cleaning PV panels increases in tandem with the expansion of installed PV capacity over time, eventually peaking before declining. For the high, medium, and low scenarios, the annual water usage is approximately 4.7 million m^3, 1.18 million m^3, and 0.0598 million m^3, respectively. In each case, the sharp increase in PV system installations during the 2040s can be linked to a corresponding surge in water consumption.
- The findings also indicate that a significant portion of the resulting waste is recyclable. Given the anticipated rise in the number of panels reaching the end of their service life after 2040, investments in recycling infrastructure, material recovery technologies, and sustainable waste management policies will become increasingly essential.

Abbreviations

A	Panel surface area, m^2
C(y)	Cumulative installed PV capacity at year-end, MW
E(t), F(t), Q(t)	Number of panels reaching end-of-life, failing, or damaged by accidents/disasters, unit
K	DC/AC ratio
L	Panel lifespan, year
M	Panel mass, kg
M(t), K(t), V(t)	Total waste mass, cumulative waste, cleaning water, ton, ton, m^3
max V(t)	Peak annual cleaning water, m^3
N	Number of cleanings per year, unit/year
N(y)	Number of panels installed in year y, unit
P	Recyclable mass fraction
P_r, s_r	Unlicensed installed capacity and its share in region r, MW, -
$P_{W(y)}$	Average panel power (placeholder), W/panel
R(t), U(t)	Mass of recyclable and non-recyclable waste, ton
r_a	Annual damage rate due to accidents/disasters (hail, wind, etc.), 1/year
r_f	Annual failure rate, 1/year
S(t)	Stock of panels in service, unit
S_r, $M_{r(t)}$	Regional panel stock and regional waste, unit, ton
T	Calculated year (2014–2075), year
W	Water consumption per cleaning, L/m^2

Y	Installation (cohort) year (2014–2040), year
ΔC(y)	Annual newly installed capacity, MW
θ_v	Parameter set for sensitivity variant v
Σ R(t)	Cumulative recyclable waste, tons
Σ U(t)	Cumulative non-recyclable waste, tons
Σ M(t), t ≤ 2050	Cumulative waste up to 2050 (literature comparison)

REFERENCES

Abdurakhmanov, B., & Ochildiev, O. (2024). Estimation of possible volumes of solar panel waste generation in the Republic of Uzbekistan. E3S Web of Conferences, ICESTE 2024, 563, 01017.

Aşkın, A., Kılkış, Ş., & Akınoğlu, B. G. (2023). Recycling photovoltaic modules within a circular economy approach and a snapshot for Türkiye. Renewable Energy, 208, 583–596.

Berry, C. (2014). Case study of a growth driver–silver use in solar. 21 July 2014, guest blog on PV-Tech website, Solar Media Limited.

Çağatay, G. (October 18, 2024). High volumes of solar panel waste expected in Türkiye between 2030 and 2035 (statement by Tayfun Hız, Expert Researcher at METU GÜNAM). Anadolu Agency Energy Terminal, https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/yenilenebilir/turkiyede-2030-2035te-yuksek-miktarda-gunes-paneli-atigi-bekleniyor/44006.

Coşkun Gül, E. (2024). Environmental impact and economic analysis of solar panel waste in Turkey. Hacettepe University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, master's thesis.

GENSED (2025). Installed Capacity of Unlicensed Solar Power Plants by Province – July 2025. https://gensed.org/illere-gore-lisanssiz-ges-kurulu-gucu/

IRENA and IEA-PVPS (2016). End-of-life management: Solar photovoltaic panels. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, June 2016, 1-100.

Koçkaya, K. (2025). Estimation of Türkiye's solar panel waste using artificial neural networks (ANNs): A comparative analysis of ANNs and multiple regression analysis. Sustainability, 17(9), 4085.

Marini, C. et al. (2014). A prospective mapping of environmental impacts of large scale photovoltaic ground mounted systems. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam.

Raithel (2014), International Technology Roadmap for Photovoltaic – Results 2013, www.itrpv.net/Reports/Downloads (viewed October 2026).

Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources (RTMENR) (2023). Türkiye National Energy Plan. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf.

Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources (RTMENR) (2026). Türkiye National Energy Plan 2026, 05.11.2026, İstanbul, https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Turkiye_Ulusal_Enerji_Plani2026.pdf.

Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (RTMEUCC). (2024). Türkiye Long-Term Climate Change Strategy (LTS). https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Turkiye_Long_Term_Climate_Strategy.pdf

RG. (2019). Regulation on Unlicensed Electricity Generation in the Electricity Market (Official Gazette, May 12, 2019, No. 30772). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512.pdf.

Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ). (2026). Türkiye electricity generation and transmission statistics. TEİAŞ Official Statistics Page (Accessed: October 25, 2026). https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri.

HYBRID PCM SYSTEM WITH TOWER-TYPE HEATSINK: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DYNAMIC ENERGY STORAGE AND RELEASE BEHAVIOR

Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University Vocational School of Technical Sciences, Electrical and Energy, Çorum, Türkiye,
ORCID ID: 0000-0003-4063-0456

ABSTRACT
This study investigated the energy storage, release, and environmental transfer behaviors of a hybrid four-heat-pipe tower cooler system (4HPTHS)—characterized by heat-transfer dominance and limited storage capacity—through multi-stage experiments involving natural and forced convection as well as varying heating power levels. The experimental process comprises five stages. The thermal performance of the system was evaluated by a combination of energy balances and temperature profiles. The second stage was the most effective stage in terms of cooling efficiency, the third stage was the most effective stage in terms of energy storage efficiency, and the fifth stage was the most effective stage in terms of energy release efficiency. The results showed that approximately 16.5% of the total energy input was stored, and 83.5% was directly transferred to the environment. The individual steps were analysed separately; for example, when the heater and fan were used together, the energy storage was 45.50%, and the energy transfer to the air was 54.50%. In other words, the forced convection effect of the fan, combined with the storage capacity of the PCM, has optimized the hybrid structure in terms of both heat storage and effective cooling. Comparisons between natural and forced convection revealed significant variations in surface temperatures, whereas phase-change material (PCM) temperatures changed more gradually. Furthermore, it was observed that energy storage increased during natural convection, while the stored energy was rapidly released upon reactivating the fan. Prolonged natural cooling stages played a dominant role in total energy transfer despite low average power values, whereas short-duration natural and power-assisted stages facilitated intense heat transfer over brief periods due to high average power values. Since the phase-change process of the PCM is time-dependent, the PCM did not respond immediately to a short-duration, high-power input. The results demonstrate that the 4HPTHS can be optimized and utilized according to specific requirements—whether for long-term energy storage and gradual cooling or for rapid, high-intensity heat transfer—depending on operating conditions. These findings highlight the critical importance of operational scenarios in the design of energy storage systems.
Keywords: Tower type heatsink, thermal energy storage, PCM, heat transfer analysis, experimental study.

KULE TİPİ SOĞUTUCUYA SAHİP HİBRİT PCM SİSTEMİ: DİNAMİK ENERJİ DEPOLAMA VE SALIM DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET
Bu çalışma, ısı transferinin baskın olduğu ve sınırlı depolama kapasitesine sahip hibrit bir dört ısı borulu kule soğutucu sisteminin (4HPTHS) enerji depolama, açığa çıkarma ve çevreye aktarma davranışlarını, doğal ve zorlanmış taşınım ile değişen ısıtma gücü seviyelerini içeren çok aşamalı deneyler aracılığıyla incelemiştir. Deneysel süreç beş aşamadan oluşmuştur. Sistemin ısıl performansı, enerji dengeleri ve sıcaklık profillerinin bir arada değerlendirilmesiyle analiz edilmiştir. Soğutma verimliliği bakımından en etkili aşama ikinci

aşama, enerji depolama verimliliği bakımından üçüncü aşama, enerji açığa çıkarma verimliliği bakımından ise beşinci aşama olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar, toplam enerji girişinin yaklaşık %16.5'inin depolandığını, %83.5'inin ise doğrudan çevreye aktarıldığını gösterdi. Her bir aşama ayrı ayrı incelendi; örneğin, ısıtıcı ve fan birlikte kullanıldığında enerji depolama oranı %45,50, havaya aktarılan enerji oranı ise %54.50 olarak gerçekleşti. Başka bir deyişle, fanın zorlanmış taşınım etkisi, PCM'nin depolama kapasitesiyle birleşerek hibrit yapıyı hem ısı depolama hem de etkili soğutma açısından optimize etmiştir. Doğal ve zorlanmış taşınım arasındaki karşılaştırmalar, yüzey sıcaklıklarında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koyarken, faz değiştiren malzeme (PCM) sıcaklıklarının daha kademeli bir değişim gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, doğal taşınım sırasında enerji depolamanın arttığı, fanın yeniden devreye alınmasıyla birlikte depolanan enerjinin hızla açığa çıktığı gözlemlenmiştir. Düşük ortalama güç değerlerine rağmen, uzun süreli doğal soğutma aşamaları toplam enerji transferinde baskın bir rol oynarken; kısa süreli doğal ve güç destekli aşamalar, yüksek ortalama güç değerleri sayesinde kısa zaman dilimlerinde yoğun ısı transferine olanak tanımıştır. PCM'nin faz değişimi süreci zamana bağlı olduğundan, PCM kısa süreli ve yüksek güçlü bir girdiye anında tepki veremedi. Sonuçlar, 4HPTHS'nin çalışma koşullarına bağlı olarak —ister uzun vadeli enerji depolama ve kademeli soğutma ister hızlı ve yüksek yoğunluklu ısı transferi olsun— belirli gereksinimlere göre optimize edilip kullanılabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, enerji depolama sistemlerinin tasarımında operasyonel senaryoların kritik önemini vurgulamaktadır.
Anahtar kelimeler: Kule tipi ısı emici, termal enerji depolama, FDM, ısı transferi analizi, deneysel çalışma.

1.INTRODUCTION

Energy storage and heat transfer technologies play a critical role in the development of sustainable energy systems. In particular, the combined use of passive and active components—such as phase change materials (PCMs) and heat pipes—enhances energy storage capacity while enabling rapid heat dissipation. In this context, hybrid systems possess the potential to simultaneously perform both heat storage and heat release functions under varying operating conditions.

Using a PCM-based heat sink (HS) is very effective in controlling the temperature of electronic devices that generate a lot of heat. PCM-HS efficiently regulates heat under constant temperature conditions with high latent heat of melting capacity and isothermal phase change mechanisms (Arshad et al., 2019; See et al., 2022; Kumar et al., 2026). Early studies focused on the development of PCM-based heat sink structures using various design and optimization techniques and on improving their thermal performance. Balaji et al. (2011) optimized a composite heat sink consisting of metal and PCM; by comparing rectangular, parabolic, and trapezoidal fins, they determined that parabolic fins yielded the highest performance, though trapezoidal fins might be preferred as a practical alternative due to manufacturing challenges. Weng et al. (2011) tested a heat pipe–PCM module for electronic cooling using various PCM types, filling volumes, fan speeds, and heater power levels. They reported that the inclusion of PCM extended the energy storage duration, stabilized temperature fluctuations, and reduced fan power consumption, while increasing the filling volume improved module performance. Pan et al. (2017) optimized a finned heat pipe configuration within a PCM-based latent energy storage system and reported that thin fins enhanced the system's economic efficiency. Srivatsa et al. (2026) combined Artificial Neural Networks (ANN) and Genetic Algorithms (GA) to optimize a PCM-based heat sink cavity, reporting that a cavity with dimensions of 60 × 60 × 18 mm achieved the longest melting time at 4831 s.

Recent research focuses on optimizing PCM-based heat sinks and heat pipe integrations, aiming to enhance the thermal performance of these systems through varied geometries, improved natural convection, and advanced manufacturing techniques. In a study conducted by See et al. (2022), a new heat sink was developed—featuring a finned structure integrated with PCM and enhanced for natural convection through topology optimization—and manufactured using the Selective Laser Melting method. Their experimental results demonstrated that this topology-optimized heat sink achieved a lower base temperature compared to the conventional design and provided a 31% longer operating time than other optimized designs. In experimental and numerical research by Akhil Krishnan et al. (2025), a hybrid system with aluminum foam and heat pipes was developed to improve the low thermal conductivity of PCM; different configurations were investigated using NPG/TAM solid-solid PCM combinations. They found that the N5T5 (38–43 °C) composite provided the highest temperature reduction, and that the fan-assisted PCM-Foam-HP hybrid system achieved a 58–60% temperature reduction in the 15–19 W power range. Lisadavy et al. (2026) investigated the transient thermal behavior and dynamic analysis of a loop heat pipe system integrated with PCM and demonstrated the effects of energy storage and release processes on stability. Kumar et al. (2026) evaluated the performance of a PCM-based heat sink and heat pipe combination, considering ambient temperature and orientation conditions. They compared temperature distributions under conditions with and without fans. They reported that heat pipe-integrated finned heat sinks (HPFHS) reduced charging time by 23.43–27.12% and discharging time by 20.68–39.66% at a 12 W load; furthermore, they found that in the 90° orientation, the heat pipe contributed 69.55% to heat transfer during charging and 59.73% during discharging.

2.THE CONTRIBUTION AND INNOVATION OF THE STUDY

In this study, the thermal behavior and energy release processes of a PCM-based hybrid energy storage system operating under both fan-assisted and natural convection conditions were experimentally investigated. The objective was to comparatively characterize surface temperatures and the energy storage/release behavior of PCM zones across various operational phases, and to elucidate the role of the fan-heater interaction in the system's energy balance. Although the existing literature contains numerous studies on the energy storage capacity of PCMs and their behavior under natural convection, there is a lack of reported data regarding the quantitative distribution of released energy during fan-assisted transition phases (specifically the heater-off/fan-on scenario) in hybrid systems utilizing tower-type heatsinks—configurations characterized by heat-transfer dominance and limited storage capacity. Furthermore, simultaneous comparisons of surface temperatures and energy balances derived from PCM sensors have been limited, and the trade-off between heat transfer efficiency and storage capacity in such hybrid systems has not been adequately discussed in the literature.

The original contribution of this study lies in its provision of experimental findings—obtained under fan-assisted and natural convection conditions—that address gaps in the literature regarding PCM-based hybrid systems and offer a detailed analysis of energy release processes. In this study, the behavior of a PCM-assisted hybrid system under natural and forced convection conditions was experimentally investigated. The experiments were conducted based on a five-stage scenario; the system's energy storage, oscillation, and environmental transfer processes were analyzed by controlling fan operation and power inputs. By evaluating multi-stage energy balances and temperature profiles together, the system's performance was demonstrated through both numerical and visual data. The study most similar to the present one is that conducted by Akhil Krishnan et al. (2025). The fundamental similarity between the two studies lies in the integration of PCM with a heat pipe to facilitate both energy storage and rapid heat dissipation.

In both systems, the use of a fan accelerated the temperature drop and enhanced cooling capacity. However, the present study does not utilize metal foam; instead, it focuses on determining energy storage and release rates across multi-stage scenarios (natural convection, forced convection, and power-up/power-off cycles). In the study by Akhil Krishnan et al. (2025), a low-power heater (15–19 W) was used for electronics cooling. In contrast, the present study employs higher power inputs, ranging from 35 W to 135 W. While Akhil Krishnan et al. (2025) utilized a conventional U-shaped tower-type heatsink, the present study modified this design to develop an L-shaped configuration. This modification altered the behavior of the section embedded within the PCM relative to the section exposed to the air. In the current system, the condenser section of the heat pipe dissipates heat into the air via a high-surface-area structure composed of fins and the pipe itself. In the other study, however, heat dissipation is achieved using heat pipes combined with a small aluminum heatsink.

The original contributions of this study are the experimental demonstration of the limited storage capacity and heat-transfer-dominated behavior in a hybrid PCM system utilizing a tower-type heatsink, the determination of the quantitative distribution of oscillation energy during fan-assisted phase-change stages, and the presentation—for the first time in the literature—of simultaneous energy balance comparisons between PCM sensor readings and surface temperatures.

The original contributions of this study are presented below:

- Experimental investigation of energy storage and release processes in a hybrid PCM system integrated with a tower-type heatsink for the first time,
- Comparison of surface temperatures (via PCM sensors) with simultaneous energy balances and the characterization of the system's dynamic equilibrium behavior,
- Elucidation of the fan-heater interaction scenario—a topic lacking in the literature—through experimental data,
- Quantitative breakdown of energy release by phase and verification of this breakdown via simultaneous energy balances based on surface temperatures and PCM sensor data,
- Determination of performance limits through a comparative analysis of high-power and low-power phases in hybrid systems.

3. MATERIAL AND METHOD

In the present study, both the materials utilized and the experimental methodology are described in detail, establishing the basis for the assessment of heat transfer behavior in the modified heatsink–PCM configuration. Fig. 1 shows the experimental setup. A four-heat-pipe tower heatsink (4HPTHS) was used in the experimental study. The four-heat-pipe tower heatsink was modified from a U-shape to an L-shape. One leg of the L-shape was placed inside a rectangular metal enclosure, while the other leg was left exposed to the air.

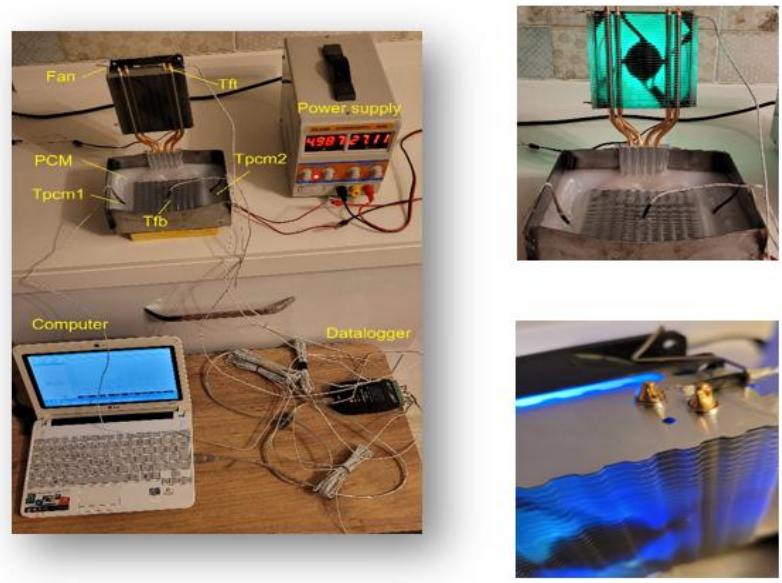


Fig. 1. Experimental setup.

The 4HPTHS was partially embedded in a PCM-filled enclosure for thermal regulation. Thus, the system was designed so that one section is in direct contact with the PCM, while the other is cooled by airflow. The fundamental thermophysical properties of paraffin are critical parameters that determine the system's energy storage capacity and thermal behavior. The bulk density (850 kg/m³), specific heat capacity (2.1 kJ/kg·K), and latent heat of fusion (189 kJ/kg) are the primary parameters governing the material's volumetric energy storage potential. The relatively low thermal conductivity (0.24 W/m·K) limits heat transfer rates while enhancing the material's ability to act as a thermal buffer by delaying temperature fluctuations. In addition, the high flashpoint (200–240 °C) and boiling point (370 °C) confirm the material's thermal stability and safety under elevated operating conditions.

The tower heatsink originally featured dual fans; however, the fan was removed from the section embedded in the PCM, and a fan was utilized only on the section exposed to the air. Consequently, the condenser section of the system was supported by active air cooling, while the evaporator section was integrated with the PCM and the metal enclosure. A 10×10 cm electric heater powered by a 24 V supply was placed beneath the metal enclosure. Insulation material was positioned under the heater to minimize heat loss. Thus, the experimental setup was constructed from the following layers: insulation material, electric heater, metal enclosure, the heatsink's evaporator section (with PCM), and the heatsink's condenser section (air-cooled with a fan). With this arrangement, energy from the heater is first transferred to the metal enclosure and the PCM and then transported to the heat pipes via the heatsink's evaporator section. The heat pipes transmit the energy to the condenser section, dissipating it into the ambient air through fan-assisted airflow.

In this study, the experimental process was conducted in five consecutive stages: Natural (fan stopped), Forced (fan started), Natural (fan stopped), Natural (fan stopped) + power-up, and Forced (fan started – power off). By varying the status of the fan and heater at each stage, the system's energy storage, oscillation, and environmental transfer behaviors were observed, and temperature profiles and energy balances were recorded. In the first stage, the system operated under natural cooling conditions with the fan turned off. In the second stage, forced air cooling was applied by activating the fan. In the third stage, the fan was turned off again, and the system reverted to natural cooling. In the fourth stage, additional power was supplied to the heater

while the fan remained off, thereby introducing extra energy input under natural cooling conditions. In the final stage, forced air cooling was applied by running the fan, but the heater was deactivated. The heater remained continuously active until the beginning of this final "forced–power off" stage.

This system demonstrates the dual-medium heat transfer capacity of the heat pipe: one end is connected to the latent heat storage process within the PCM, while the other end is connected to the heat release process directly to the environment via forced convection. Therefore, the system simultaneously performs both energy storage and heat release functions.

Sensors (thermocouples) were placed at five different locations to monitor the temperature distribution of the experimental setup and the behavior of the PCM. The first sensor was positioned on the top surface of the heatsink—at the tips of the fins—to track temperature changes in the section of the condenser exposed to air. The second and third sensors were placed to the right and left of the heatsink fins within the metal enclosure to record the PCM's temperature profile. The fourth sensor was installed to measure the temperature of the heatsink fins inside the metal enclosure. Finally, the fifth sensor recorded the ambient laboratory temperature as an independent reference, enabling an assessment of the extent to which the system was affected by external conditions. All sensors were connected to a multi-channel data logger, with the data acquisition interval set to 5 seconds. This allowed for the collection of time-series data regarding the PCM's phase-change process, the heatsink's heat transfer performance, and the influence of ambient conditions.

4. THEORETICAL ANALYSIS

In this section, the system's energy storage, oscillation, and environmental transfer behaviors will be examined theoretically. The theoretical analysis is conducted to explain the physical mechanisms underlying the experimental findings and to predict the system's performance under various operating conditions.

Energy balance:

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (1)$$

$$Q_{in} = Q_{storage} + Q_{transfer} \quad (2)$$

$$Q_{storage} = Q_{case} + Q_{PCM} + Q_{pipe+fin} \quad (3)$$

$$Q_{total} = Q_{case} + Q_{PCM} + Q_{pipe+fin} + Q_{transfer} \quad (4)$$

$$Q_{storage} = Q_{in} - Q_{transfer} \quad (5)$$

The total energy input (Q_{in}) is divided into the components of stored energy ($Q_{storage}$) and energy transferred directly to the environment ($Q_{transfer}$). The $Q_{storage}$ is limited by the sensible and latent heat capacity of the PCM.

Under natural (fan-off) conditions, the applied power first transfers from the heater to the containment vessel. The metal mass of the vessel stores a portion of the energy as sensible heat. Subsequently, the energy is distributed among three main components: The first stage involves sensible and latent heat storage within the PCM. The PCM initially rises in temperature; upon reaching its melting point, it stores the incoming energy as phase-change enthalpy, resulting in a temperature plateau. The second stage involves the heating of the heat pipe and the fins. The copper body and fins of the heat pipe possess a certain thermal mass; consequently, a portion of the incoming energy is consumed to raise their temperature. This is significant regarding the system's thermal inertia, as the heating of the heat pipe and fins creates a more effective surface for heat transfer. The third stage is heat transfer via the heat pipe. A liquid-to-vapor phase change occurs at the evaporator end, transporting energy to the condenser end, where it is

transferred to the airflow.

Under forced (fan-on) conditions, the system's energy balance shifts when the fan is activated. In addition to conduction and phase-change storage, forced convection comes into play. This accelerates energy transfer from the heat pipe's condenser end to the air and enables effective cooling by the fins. While the energy input still originates from the heater, the pathways for energy output become more diverse.

Total input energy balance:

$Q_{input} = Q_{heater}$ for natural (5)

$Q_{input} = Q_{heater} + Q_{fan}$ for forced (6)

The effect produced by the fan with minimal power consumption can be substantial in terms of the system's energy balance. This is because the fan dramatically increases the $Q_{environment}$ term by directly inducing forced convection.

The exchanged thermal energy ($\dot{Q}_{ch}$, $\dot{Q}_{dis}$) was determined from fluid-side temperature measurements.

The general equation:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p \int_{t_0}^{t_f}[T_o(t) - T_i(t)]dt = \dot{m}c_p \sum_{i=0}^{n} \Delta T_i \Delta t \quad (7)$$

The general equation is modified;

The charging equation is

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{m}c_p \int_{t_0}^{t_i}[T_o(t) - T_i(t)]dt = \dot{m}c_p \sum_{i=0}^{n} \Delta T_i \Delta t \quad (8)$$

The discharging equation is

$$\dot{Q}_{dis} = \dot{m}c_p \int_{t_0}^{t_i}[T_o(t) - T_i(t)]dt = \dot{m}c_p \sum_{i=0}^{n} \Delta T_i \Delta t \quad (9)$$

The transient evolution of the temperature field within the medium is governed by the fundamental heat conduction equation, which provides the theoretical framework for characterizing the dynamic behavior of conductive heat transfer.

$$\rho c_p \frac{\delta T}{\delta t} - k\nabla^2 T = Q \quad (10)$$

where $\dot{m}$ is the mass flow rate of the fluid, c_p is its specific heat capacity, ΔT represents the instantaneous temperature difference between outlet and inlet, T is temperature (K), ρ is density (kg/m³), k is thermal conductivity (W/m·K), and t is time (s).

Energy storage capacity:

$Q_{PCM} = mc_p\Delta T + m_{PCM}L$ for PCM (11)

Where m_{PCM} is the mass of PCM (kg) and L is the latent heat of PCM (kJ/kg).

5.RESULT AND DISCUSSION

The thermal images shown in Fig. 2 represent different stages of the experiment. Initially (0 s), the system is at ambient temperature. The thermal images clearly demonstrate the characteristic behaviors of the hybrid PCM system, such as heat accumulation during natural convection, homogenization and cooling during forced convection, reheating upon heater activation, and energy release while the fan is running. This visual evidence supports the system's dynamic energy storage and release performance. At 3475 s, the fan is still off; during this stage, the temperature rises due to natural convection, and intense heating is observed, particularly in the upper regions. The fan is activated between 5515 and 6595 s (Forced – Fan start); during this phase, the temperature distribution becomes more uniform, and surface temperatures begin to drop. The fan is off between 7910 and 8175 s (Natural – Fan stop + Power up); here, a temperature rise becomes evident due to renewed energy input. Between 8180 and 11195 s, the

fan is on, but the heater is off (Forced – Fan start – Power off); during this stage, the energy stored in the system is released, and temperatures gradually decrease.

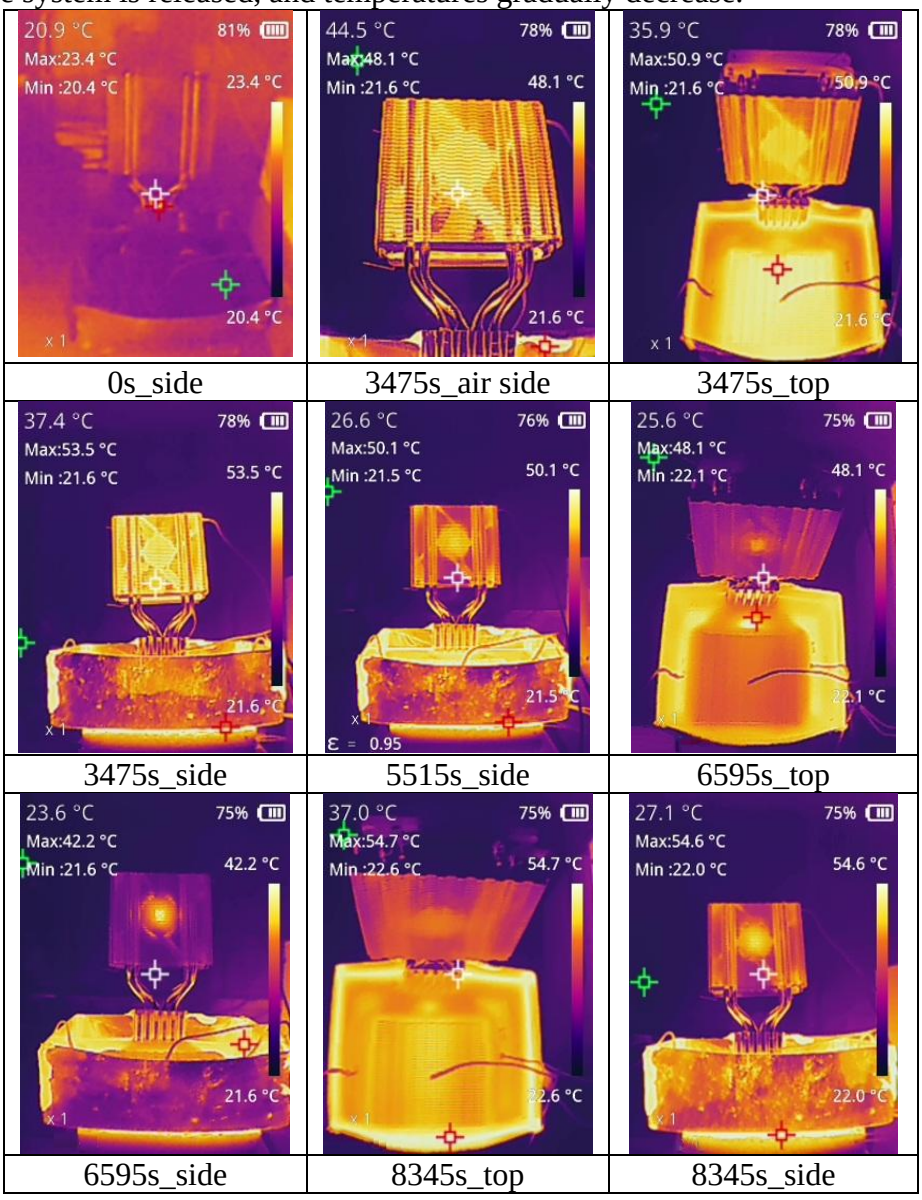


Fig. 2. Thermal images of the hybrid PCM system taken at different times and angles.

At 3475 s, the average temperature is 35.9 °C, with a maximum of 50.9 °C. Intense yellow-white colors dominate the upper regions of the image, indicating heat accumulation and high surface temperatures under natural convection conditions. The heat distribution is sharper, and hot zones are clearly defined. At 6595 s, the average temperature is 25.6 °C, with a maximum of 48.1 °C. In the image, the colors have shifted towards blue-purple tones; this indicates that the system cooled down via forced convection after the fan was activated. Hot zones have shrunk, and the distribution has become more uniform. At 3475 s, the system was in the heating phase under natural convection; temperatures were high, and localized hotspots had formed. By 6595 s, temperatures had dropped due to the fan's effect—with the average value decreasing by approximately 10 °C—and hot zones had contracted. Thus, consistent with Fig. 3, the transition

from heating to cooling is clearly observed. At 8345 s, the average temperature is 37.0 °C, with a maximum of 54.7 °C. In other words, following the cooling observed at 6595 s, the temperature rose again due to renewed energy input. In the image, hot zones have expanded once more, and bright yellow-white areas have formed in the upper sections. The system first cooled down, after which the temperature began to rise again upon the reintroduction of energy. This image directly confirms the second heating phase shown in Fig. 3.

In Fig. 3, the presented temperature-time curves clearly illustrate the thermal behavior across the five consecutive stages of the experiment. In the first stage (natural convection, fan off), the system cooled solely via natural convection, and the temperature rise occurred relatively slowly. In the second stage, the fan was activated to induce forced convection, causing a rapid temperature drop, particularly at the heatsink surfaces. In the third stage, the fan was turned off, allowing the system to revert to natural convection, resulting in more stable temperature variations. In the fourth stage, with the fan still off, additional power was supplied to the heater; consequently, a rapid temperature rise was observed at the PCM sensors, accompanied by a distinct plateau in the phase-change region. In the final stage, the fan was operated while the heater was deactivated; during this phase, forced convection caused the system to cool rapidly, facilitating the controlled transfer of the heat stored in the PCM to the surrounding environment. Overall, the graph demonstrates that the PCM exhibits characteristic plateau behavior in its temperature curves during the phase-change process and that the activation and deactivation of the fan directly influence the system's cooling rate. These results indicate that the PCM-heatsink hybrid system delivers effective performance in terms of both energy storage and thermal management.

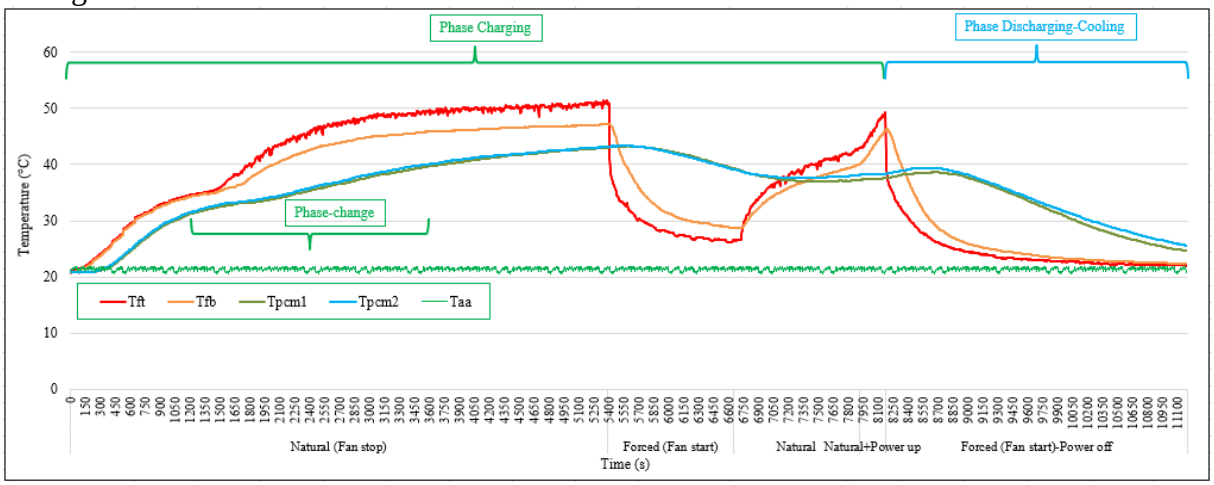


Fig. 3. Temperature–time profiles illustrating thermal behavior across five consecutive experimental stages.

In the first phase (natural convection/fan stopped), there was a significant temperature difference across all points (Tft, Tfb, Tpcm1, Tpcm2); the top surface temperature (Tft) rose to 51.4 °C, while the PCM zones remained around 43 °C. This indicated limited natural convection, with heat accumulation concentrated in the upper region. In the second phase (forced convection/fan started), the activation of the fan balanced the temperature distribution: the PCM zones stabilized around 42 °C, while the top surface temperature dropped (Tft_avg≈29 °C). This demonstrated that forced convection facilitated effective heat transfer, rapidly transferring stored energy to the air. In the third phase (natural convection/fan stopped), the system reverted to natural convection once the fan was turned off; temperatures decreased

gradually, yet the PCM zones remained at a high temperature (≈42 °C). This highlighted the PCM's heat retention capability. In the fourth phase (natural convection/fan stopped + power on), temperatures rose again when the heater was reactivated, but the PCM zones were already near saturation (≈38 °C), indicating that the additional energy input primarily contributed to sensible heat. In the final phase (forced convection/fan started + power off), the fan was on while the heater was off; temperatures dropped rapidly (Tft_avg≈24 °C, Tpcm_avg≈33 °C). This represented the stored energy release phase, effectively transporting heat away from the PCM via fan-forced convection. Overall, the system exhibited hybrid behavior characterized by heat-transfer dominance and short-term storage effects. Temperature differences decreased and energy transfer accelerated during the phases when the fan was active, whereas the PCM's heat-retention capability became dominant when the fan was off.

In the first comparison—Natural vs. Forced—average temperature values showed decreases of 31.27% for Tft and 16.62% for Tfb, while an increase of approximately 19% was observed in the PCM sensors. This indicated that activating the fan reduced surface temperatures while causing the PCM zones to heat up. Conversely, the Forced vs. Natural comparison showed only minor changes (Tft −1.44%, Tfb −1.09%, PCM sensors −0.18% and −0.19%), demonstrating that the system largely maintained its temperature level after the fan was turned off. In the Natural vs. Natural + Power-up comparison, Tft experienced a significant rise of 59.10%, whereas the PCM sensors showed a decrease of 10% to 13%. During this phase, reactivating the heater caused a sharp increase in surface temperature, while the PCM zones began to lose their energy storage capacity. Finally, the Natural + Power-up vs. Forced + Power-off comparison revealed negative changes across all zones (Tft −46.97%, Tfb −39.37%, Tpcm −13%). This demonstrated that restarting the fan led to the rapid release of stored energy and a downward trend in temperatures across all zones.

In the first phase (Natural – Fan stop), the storage rate within the overall energy balance was 6.0%; within the phase itself, 7.9% storage and 92.1% transfer to the environment occurred. The system's dominant behavior in this phase was the direct transfer of energy to the environment. In the second phase (Forced – Fan start), the overall storage rate was 5.5%; within the phase, 45.5% storage and 54.5% transfer to the environment took place. In this phase, the influence of the fan resulted in a more balanced distribution between storage and transfer. In the third phase (Natural – Fan stop), the overall storage rate dropped to 1.7%; within the phase, 17.3% storage and 82.7% transfer to the environment occurred. It was observed that the system primarily transferred energy directly to the environment during this phase. In the fourth phase (Natural – Fan stop + Power up), the storage rate within the overall energy balance was 3.3%, while the transfer rate to the environment was 7.0%. Within the phase, 32% storage and 68% transfer to the environment took place. When the heater was activated in this phase, both the system's storage capacity and the transfer to the environment increased; consequently, the balance between storage and transfer became more even. In the fifth phase (Forced – Fan start, Power off), no storage occurred. Instead, 28% (17.5 kJ) of the previously stored energy was released and entirely transferred to the environment. Within the phase, 0% storage and 100% transfer to the environment were observed. This phase was characterized entirely by energy release. When the overall energy balance is evaluated, 16.5% of the system's energy was stored, while 83.5% was transferred directly to the environment. Of the stored energy, an additional 28% was subsequently released and transferred to the environment.

These findings indicate that the system can be operated in different modes depending on whether storage or heat transfer is prioritized. In other words, if the objective is total energy transfer over the long term, the initial "Natural" phase is preferable; conversely, if the goal is

rapid, high-intensity heat transfer, the 3rd and 4th phases ("Natural short" + "Power up") may be selected. The results depend on system power and experimental conditions. The balance between storage and transfer may shift at different power levels; therefore, design choices should be made by considering not only the specific experiment at hand but also the system scale and application requirements.

In the low-power scenario, with the fan off and total input held constant, output was limited and natural convection was low. When the fan was turned on—again with constant total input—the rate of temperature drop accelerated significantly due to forced convection on the output side. In the high-power scenario, with the fan off, the PCM charged rapidly due to the high total input power; however, output remained limited because conditions were restricted to natural convection. When the fan was activated, despite an additional energy input of only about 2%, heat transfer to the air on the output side became far more effective, resulting in a rapid drop in temperature curves. Regarding the efficiency ratio (cooling effect vs. energy input), the energy transferred to the air increased substantially relative to the fan's minor energy consumption; in other words, the cooling efficiency-to-energy input ratio was much higher when the fan was in use.

In conclusion, when all stages of the experiment are evaluated together, the system's energy balance and thermal behavior can be summarized as follows: In the first stage, with low energy input, the sensible heat of the container, the PCM, and the heat pipe-fin assembly increased while energy storage via the PCM's phase-change enthalpy simultaneously began, with the heat pipe transporting this energy to the condenser end. In the second stage, when the fan was activated, the energy transferred to the air ($Q_{transfer}$) increased significantly due to forced convection, the storage terms ($Q_{case}, Q_{PCM}, Q_{pipe+fin}$) decreased, and rapid drops in temperature curves were observed. In the third stage, when the fan was turned off, the system reverted to natural convection; as heat transfer to the air diminished, the PCM's buffering role became prominent, resulting in a more balanced and gradual progression of temperature changes. In the fourth stage, with the fan still off, the heater power was increased; this led to a rapid rise in energy input and accelerated the PCM melting process, although the PCM sensors could not respond as quickly as the surface sensors due to the short duration of the high-power input. Finally, in the last stage, the heater was turned off while the fan remained active; without new energy input, the system released only its stored energy, the heat recovered from the PCM's phase change was transferred to the environment in a controlled manner, and a distinct downward trend appeared in the temperature curves. Thus, the entire process demonstrated how energy storage and release are balanced under conditions with and without the fan, and how the PCM's buffering capacity works in tandem with the convective efficiency of the heat pipe-fin assembly. These stages have demonstrated both the system's energy storage capacity (via the phase-change behavior of the PCM) and its heat dissipation efficiency (under forced and natural convection conditions). Thus, the hybrid structure can be characterized as a thermal management solution capable of limiting temperature fluctuations during high power inputs, providing rapid cooling when needed, and releasing stored energy in a controlled manner.

6.LIMITATIONS AND FUTURE WORK

The findings of this study were obtained under specific experimental conditions and system parameters; therefore, the generalizability of the results is subject to certain limitations.

- The study was conducted at a specific power level and under limited fan flow rate conditions. Consequently, the results may vary at different power levels or airflow conditions.
- Phase durations depend on fixed experimental conditions; the storage-transfer balance

may differ across various time scales (e.g., longer or shorter operating periods).

- Storage and release processes depend on the properties of the materials used. Different results might be obtained in systems utilizing material configurations other than the one employed in this study.
- Experiments conducted at varying power levels could be used to examine how the storage-transfer-release balances change.
- By testing different fan speeds and airflow configurations, the relationship between instantaneous power transfer and total energy transfer could be more comprehensively elucidated.
- Storage capacity and release behavior could be compared by increasing material diversity (e.g., different PCM types, nanoparticle additives, or various granular media).
- Long-term experiments could be used to analyze the system's stability, cyclic performance, and repetitive storage-release behavior.
- Design criteria could be developed by adapting the results to real-world applications (e.g., building thermal management, electronics cooling, or renewable energy storage).

7.CONCLUSION

This study comprehensively elucidated the system's storage, release, and ambient transfer behaviors by jointly evaluating multi-stage energy balances and temperature profiles. The findings reveal the following:

- Approximately 16.5% of the total energy input was stored, while 83.5% was directly transferred to the environment.
- Of the 61.8 kJ of stored energy, approximately 17.5 kJ (28%) was recovered and transferred to the environment during the subsequent release phase. This indicates that the release phase is a recovery process originating from within the stored energy.
- In comparison between natural and forced convection, surface temperatures decreased significantly (Tft: -31.27%, Tfb: -16.62%), while the PCM temperature also dropped but at a slower rate.
- In forced convection, compared to natural convection, surface temperatures decrease significantly (Tft: -31.27%, Tfb: -16.62%); the PCM temperature also decreases, though this reduction occurs at a slower rate than that of the surface temperatures under both conditions.
- Long-duration natural cooling phases played a dominant role in total energy transfer, despite low average power values. Conversely, short-duration natural and power-assisted phases facilitated intense heat transfer within a brief period, characterized by high average power values.
- Temperature profiles indicated that material and surface temperatures underwent more rapid changes during fan-assisted and power-assisted phases.
- The system demonstrated the heat pipe's capability to facilitate both latent heat storage within the PCM and rapid heat dissipation via forced convection. One end of the pipe was connected to a PCM block that stabilizes temperature through the absorption of latent heat of fusion, while the other end was exposed to airflow, enabling efficient enthalpy transfer through evaporation-condensation cycles.
- This hybrid configuration allowed the system to perform energy storage and heat dissipation operations simultaneously. While the PCM side absorbed incoming heat to limit temperature rise, fins on the air side facilitated rapid heat rejection; consequently, it was determined that operational conditions could be adjusted to prioritize either storage stability or rapid cooling.

These findings demonstrate that the system can be optimized for either energy storage or heat transfer priorities depending on the operating conditions. Natural cooling phases may be more suitable for long-term energy transfer and steady temperature reduction, whereas short-duration natural plus forced-convection phases may be preferable for rapid, high-intensity heat transfer and quick temperature changes.

Conducting future studies across various power levels, fan flow rates, and material configurations will help elucidate the relationship between energy balance and temperature profiles more comprehensively. Furthermore, long-term cyclic experiments are essential for evaluating the system's stability and its repetitive storage-release behavior.

REFERENCES

Akhil Krishnan, S. R., Suresh, A. K., Midhun V. C., Kalidoss, P., Josh Shelton, M., Dharun S., Sunil Gavaskar, P. (2025). Experimental and numerical investigation on the performance of binary solid-solid phase change materials with integrated heat pipe and aluminium foam based heat sink for thermal management of electronic systems. International Journal of Thermal Sciences, 208, 109409.

Arshad, A., Jabbal, M., Yan, Y., & Darkwa, J. (2019). The micro-/nano-PCMs for thermal energy storage systems: a state of art review. International Journal of Energy Research, 43(11), 5572-5620.

Balaji, C., Mungara, P., & Sharma, P. (2011). Optimization of size and shape of composite heat sinks with phase change materials. Heat and mass transfer, 47(5), 597-608.

Kumar, B., Naresh, Y., Banerjee, J., & Saini, S. (2026). Thermal performance of PCM-based heat sink integrated with heat pipe: Influence of ambient temperature and orientation. International Journal of Thermal Sciences, 223, 110575.

Lisadavy, A. R., Fathoni, A. M., Hendaryanto, P. A., Juarsa, M., Mahlia, T. I., & Putra, N. (2026). Transient Thermal Characterization and Nonlinear Dynamic Analysis of a Loop Heat Pipe Integrated with Phase Change Material. Results in Engineering, 110775.

Pan, C., Vermaak, N., Romero, C., Neti, S., Hoenig, S., & Chen, C. H. (2017). Efficient optimization of a longitudinal finned heat pipe structure for a latent thermal energy storage system. Energy Conversion and Management, 153, 93-105.

See, Y. S., Ho, J. Y., Leong, K. C., & Wong, T. N. (2022). Experimental investigation of a topology-optimized phase change heat sink optimized for natural convection. Applied Energy, 314, 118984.

Srivatsa, P., Baby, R., & Balaji, C. (2016). Geometric optimization of a PCM-based heat sink—a coupled ANN and GA approach. Heat Transfer Engineering, 37(10), 875-888.

Weng, Y. C., Cho, H. P., Chang, C. C., & Chen, S. L. (2011). Heat pipe with PCM for electronic cooling. Applied Energy, 88(5), 1825-1833.

İMMATÜR DAİMİ DİŞLERDE REJENERATİF ENDODONTİK TEDAVİNİN TAKİBİ: İKİ OLGULUK SERİ

Uzm. Dt. Ali HARAÇ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, 14030 Gölköy, Bolu | ORCID: 0009-0003-5900-476X
Dr. Öğr. Üyesi Melis Oya ATEŞ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, 14030 Gölköy, Bolu | ORCID: 0000-0001-6478-3479
Dr. Öğr. Üyesi Esma DİNGER
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, 14030 Gölköy, Bolu | ORCID: 0000-0002-0874-3736

ÖZET
Pulpa nekrozu bulunan immatür daimi dişlerde rejeneratif endodontik tedavi, periapikal iyileşmenin yanı sıra kök gelişiminin sürdürülmesini de amaçlar. Bu bildiride iki anterior dişe uygulanan tedavinin klinik ve radyografik takibi sunulmaktadır. Yirmi iki yaşındaki hastanın travma öyküsü bulunan 12 numaralı dişinde ve 24 yaşındaki hastanın dens invajinatus bulunan 21 numaralı dişinde pulpa nekrozu, kronik apikal periodontitis ve durmuş kök gelişimi saptandı. Her iki dişte European Society of Endodontology (ESE) önerilerine göre irrigasyon yapıldı ve kanal içi kalsiyum hidroksit iki hafta süreyle uygulandı. Ardından plateletten zengin fibrin (PRF) iskele olarak kullanılarak rejeneratif endodontik tedavi tamamlandı. Koronal bariyer ve restorasyon için Biodentine, rezin modifiye cam iyonomer siman ve kompozit rezin kullanıldı. Sırasıyla 12 ve 14 aylık takiplerde hastaların semptomsuz olduğu görüldü. Her iki dişte kök gelişiminin devamı ve periapikal lezyonlarda belirgin küçülme izlendi. On iki numaralı diş elektrikli pulpa testi ve soğuk testine yanıt vermezken 21 numaralı diş her iki teste de yanıt verdi. İki olguda da rejeneratif endodontik tedavi sonrası klinik iyileşme ve kök gelişiminin devamıyla uyumlu radyografik bulgular gözlendi. Vitalite testlerine pozitif yanıt, gerçek pulpa dokusu rejenerasyonunun kesin kanıtı olarak görülmemelidir; uzun dönem takip gereklidir.
Anahtar kelimeler: Rejeneratif endodonti; immatür daimi diş; PRF; apikal periodontitis; olgu serisi.

FOLLOW UP OF REGENERATIVE ENDODONTIC TREATMENT IN IMMATURE PERMANENT TEETH: A TWO-CASE SERIES

ABSTRACT
Regenerative endodontic treatment of immature permanent teeth with pulp necrosis aims to promote periapical healing and continued root development. This report presents the clinical and radiographic follow-up of two treated anterior teeth. A 22-year-old patient had tooth 12 with trauma-associated pulp necrosis, and a 24-year-old patient had tooth 21 with pulp necrosis associated with dens invaginatus. Both teeth had chronic apical periodontitis and arrested root development. Irrigation was performed according to the recommendations of the European Society of Endodontology (ESE), and calcium hydroxide was used as an intracanal medicament for two weeks in both cases. Platelet-rich fibrin (PRF) was then used as a scaffold in the regenerative procedure. Biodentine, resin-modified glass ionomer cement, and composite resin were used for the coronal barrier and restoration. At 12 and 14 months of follow-up, respectively, both patients were asymptomatic. Both teeth showed continued root development and a marked reduction in the size of the periapical lesions. Tooth 12 did not respond to electric

pulp or cold testing, whereas tooth 21 responded to both tests. These cases showed clinical improvement and radiographic findings consistent with continued root development after regenerative endodontic treatment. Positive responses to sensibility testing do not directly establish regeneration of true pulp tissue; long-term follow-up is needed.
Keywords: Regenerative endodontics; immature permanent tooth; platelet-rich fibrin; apical periodontitis; case series.

1. GİRİŞ

İmmatür daimi dişlerde pulpa nekrozu, açık apikal foramen ve ince kök duvarları çoğu vakada tedaviyi güçleştirir. Apikal bariyer oluşturma ve rejeneratif endodontik tedavi uygun olgularda değerlendirilebilen seçeneklerdir; Rejeneratif endodontik tedavi, dezenfeksiyonun ardından kök kanalı içinde yeni doku oluşumu ve kök maturasyonunun devamı için uygun bir ortam oluşturmayı amaçlar [1,2].

European Society of Endodontics'in (ESE) rehberi, pulpa nekrozu bulunan immatür daimi dişlerde apikal periodontitis olsun veya olmasın kalsiyum silikat simanla apikal tıkaç ya da revitalizasyon işleminin düşünülebileceğini belirtir [2]. Bu seçeneklerin amacı yalnızca dişi asemptomatik hale getirmek değildir; apikal lezyonun iyileşmesi, kök yapısının izlenmesi ve dişin ağızda korunması da sonuç değerlendirmesinin basamaklarıdır. Rejeneratif yaklaşımda kanal dezenfeksiyonu ile apikal dokuların korunması arasında denge gözetilir; iskele ve sızdırmaz koronal restorasyon da prosedürün temel bileşenleridir [1,3].

American Association of Endodontists'in (AAE) klinik değerlendirme rehberinde birincil hedef semptomların giderilmesi ve apikal kemik iyileşmesi, ikincil hedef kök duvar kalınlığında ve/veya uzunluğunda artış, üçüncül hedef ise pulpal testlere pozitif yanıttır [3]. ESE'nin revitalizasyon rehberi immatür nekrotik dişler için işlem basamaklarını; 2023 tarihli rehberi ise pulpal ve apikal hastalıkların yönetiminde tedavi seçeneklerini ele alır [1,2]. Bu iki olgu, farklı nekroz etiyolojilerine ve farklı vitalite sonuçlarına karşın klinik ve radyografik takibin ortak yönlerini göstermektedir.

2. OLGU SUNUMU VE TAKİP

Bu olgu serisinde, 12 ve 21 numaralı dişlerin başlangıç ve kontrol periapikal radyografileri, 21 numaralı dişi içeren panoramik radyografiler ve klinik takip bulguları birlikte değerlendirildi. Panoramik radyografiler genel değerlendirme amacıyla kullanılırken, ilgili dişlerin periapikal bölge ve kök morfolojisine ilişkin değerlendirmelerinde periapikal radyografiler esas alındı.

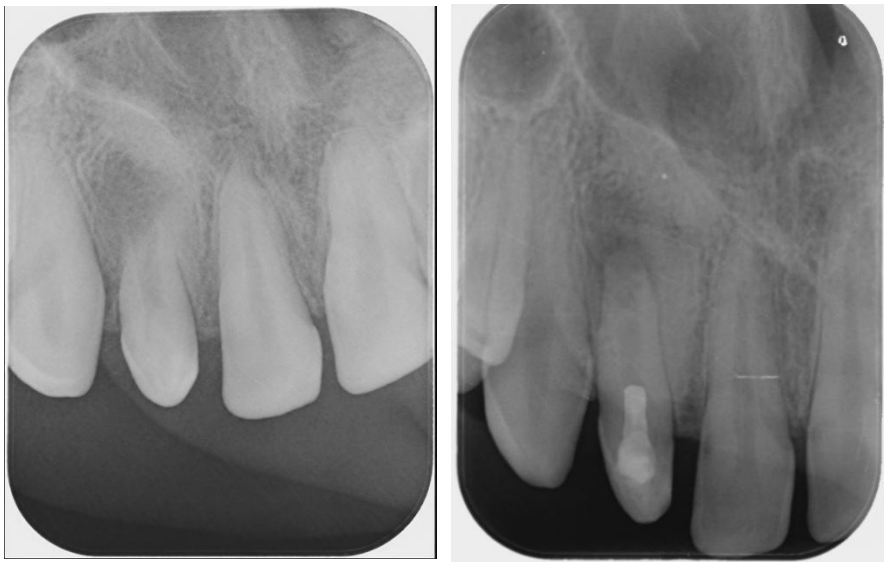
Takiplerde semptom durumu, periapikal radyolusensinin seyri, kök ucunun görünümü ve elektrikli pulpa ile soğuk testlerine verilen yanıt ayrı sonuç alanları olarak ele alındı. Periapikal iyileşme ile kök maturasyonu eş anlamlı kabul edilmedi; vitalite yanıtı da bu iki sonuçtan bağımsız olarak kaydedildi [3].

2.1. Olgu 1: Travma öyküsü bulunan 12 numaralı diş

Yirmi iki yaşındaki hastanın 12 numaralı dişinde travma öyküsüyle ilişkili pulpa nekrozu, kronik apikal periodontitis ve gelişimi durmuş immatür kök saptandı. Başlangıç periapikal filminde geniş kanal boşluğu, açık apeks ve apikal bölgede radyolusent görünüm izlendi (Şekil 1A). ESE'nin revitalizasyon yaklaşımına göre irrigasyon yapıldı. İlk seansta %3 NaOCl, 20 mL / 5 dakika; yandan perfore edilmiş iğneyle, canlı apikal dokunun yaklaşık 2 mm üzerinde, ardından 5 mL steril salin, sonra %17 EDTA, 20 mL kullanıldı ve kalsiyum hidroksit kanal içinde iki hafta tutuldu. İkinci seansta %17 EDTA, 20 mL / 5 dakika ve ardından **5** mL salin kullanıldı. Sonraki aşamada PRF iskele kullanıldı; Biodentine, rezin modifiye cam iyonomer siman ve kompozit rezinle koronal bariyer ve restorasyon tamamlandı.

Yapılan 12 aylık klinik takipte hasta semptomsuzdur. Kontrol filminde apikal radyolusent alanın belirgin şekilde küçüldüğü, kök ucunda daralma ve kök gelişiminin devamıyla uyumlu

değişiklikler görüldü (Şekil 1B). Diş elektrikli pulpa testi ve soğuk testine yanıt vermedi.



A Başlangıç **B Kontrol**

Şekil 1. 12 numaralı dişin başlangıç (A) ve kontrol (B) periapikal filmleri. Apikal radyolusent alanda küçülme ve kök ucunda maturasyonla uyumlu nitel değişiklikler izlenmektedir. Çekim geometrileri farklı olduğundan milimetrik karşılaştırma yapılmamıştır.

2.2. Olgu 2: Dens invajinatus bulunan 21 numaralı diş

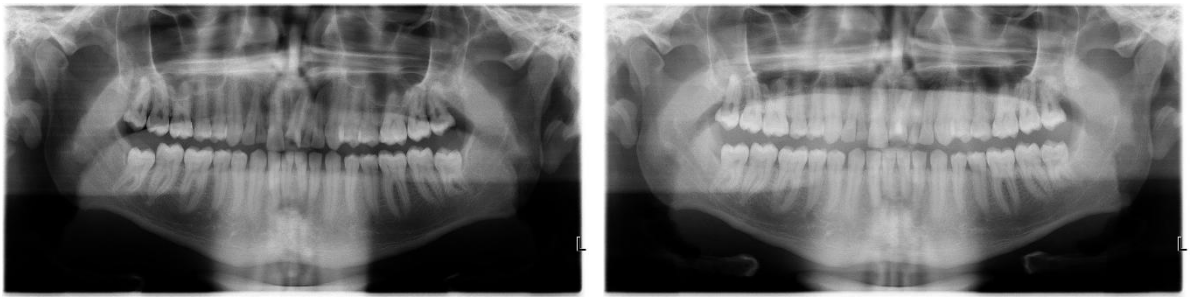
Yirmi dört yaşındaki hastanın 21 numaralı dişinde dens invajinatusla ilişkili pulpa nekrozu, kronik apikal periodontitis ve durmuş kök gelişimi saptandı. Başlangıç periapikal filminde geniş kanal alanı, immatür apikal yapı ve belirgin periapikal radyolusensi görüldü (Şekil 2A). İlk olgudaki gibi ESE önerilerine göre irrigasyon gerçekleştirildi; iki hafta kalsiyum hidroksit medikasyonu sonrasında PRF iskele kullanıldı ve Biodentine, rezin modifiye cam iyonomer siman ile kompozit rezinle koronal restorasyon sağlandı.

Yapılan 14 aylık takipte hasta semptomsuzdur. Periapikal filmde lezyon belirgin küçülmüş, kök ucunda gelişimin devamıyla uyumlu görünüm ortaya çıkmıştır (Şekil 2B). Bu diş hem elektrikli pulpa testine hem soğuk testine yanıt vermiştir. Panoramik filmler de periapikal radyolusensinin zaman içindeki azalışını genel görünüm düzeyinde desteklemektedir (Şekil 3).



A Başlangıç **B Kontrol**

Şekil 2. Diş 21'in başlangıç (A) ve (B) periapikal filmleri. Apikal lezyonda belirgin küçülme ve kök ucunda devam eden maturasyonla uyumlu görünüm vardır. Görüntüler nitel olarak karşılaştırılmıştır.



A Başlangıç panoramik **B Kontrol panoramik**

Şekil 3. Başlangıç (A) ve kontrol (B) panoramik filmleri.

2.3. Olguların karşılaştırmalı bulguları

Tablo 1. İki olgunun bildirilen klinik ve radyografik bulguları. EPT: elektrikli pulpa testi.

Özellik	**Olgu 1**	**Olgu 2**
Diş / yaş	12 / 22	21 / 24
Nekroz etiyolojisi	Travma	Dens invajinatus
Apikal tanı	Kronik apikal periodontitis	Kronik apikal periodontitis
Bildirilen takip süresi	12 ay	14 ay
Klinik durum	Semptomsuz	Semptomsuz
Lezyon / kök gelişimi	Belirgin küçülme / devam	Belirgin küçülme / devam
EPT ve soğuk testi	Negatif / negatif	Pozitif / pozitif

3. TARTIŞMA

Her iki dişte semptomsuz takip ve periapikal radyolusenside belirgin gerileme, AAE'nin birincil tedavi hedefiyle uyumludur [3]. Kullanılan periapikal filmlerde kök gelişiminin sürdüğünü düşündüren nitel değişiklikler de ikincil hedef açısından olumludur. Periapikal radyografilerde gözlenen, kök gelişiminin devamıyla uyumlu değişiklikler ise ikincil tedavi hedefini desteklemektedir.

İki boyutlu periapikal radyografi, lezyon ve kök morfolojisindeki belirgin değişiklikleri izlemede elverişlidir; ancak üç boyutlu kemik defekti ve kök dokusundaki değişiklikleri bütünüyle temsil etmez. Periapikal radyografiler, takip sürecinde periapikal lezyon ve kök morfolojisindeki değişikliklerin değerlendirilmesine olanak sağlar; ancak iki boyutlu görüntüleme nedeniyle bu değişikliklerin üç boyutlu olarak değerlendirilmesinde sınırlılıklara sahiptir. Meschi ve ark.'nın çok merkezli kontrollü çalışmasında periapikal radyografi ile konik ışınlı bilgisayarlı tomografiyle değerlendirilen bazı kök gelişimi ölçütleri arasındaki korelasyonun zayıf olabileceği bildirilmiştir [6]. Bu nedenle panoramik filmler, periapikal filmlere destek olarak kullanılmıştır. Başlangıç ve filmlerinin farklı projeksiyonu da kesin bir milimetrik değişim hesabını engeller. Bu nedenle, periapikal bölge ve kök morfolojisindeki değişikliklerin değerlendirilmesinde periapikal radyografiler esas alınırken, panoramik radyografiler destekleyici amaçla kullanılmıştır.

Olgu 2'de elektrikli ve soğuk testlerine yanıt alınması AAE'nin üçüncül hedefiyle uyumlu bir klinik bulgudur; Olgu 1'de yanıt alınmaması birincil hedefin elde edilmediği anlamına gelmez [3]. Bu testler sinirsel yanıtı ölçer ancak pulpal kan akımını doğrudan göstermez. İnsan dişlerinde yapılan histolojik incelemelerde rejeneratif işlem sonrasında kök kanalında fibröz bağ dokusu ve sement/kemik benzeri dokular gözlenmiştir [4]. Bu nedenle pozitif test yanıtını "pulpa dokusunun yeniden oluştuğu" şeklinde yorumlamak mümkün değildir.

Pulpal test yanıtı ile apikal iyileşmenin farklı zamanlarda ve farklı biçimde ortaya çıkabilmesi, rejeneratif tedavinin tek bir son ölçütle değerlendirilmemesinin nedenlerinden biridir. Kanal içinde yeni bir doku oluşsa bile bu dokunun kanlanması, sinirsel yanıtı ve gerçek pulpa-dentin kompleksine benzerliği yalnızca rutin klinik testlerle belirlenemez [3,4]. 12 numaralı dişte negatif testlere karşın semptomsuz izlem ve lezyon küçülmesi, birincil hedefin üçüncül hedeften ayrı yorumlanmasına somut bir örnektir.

PRF kullanımı, AAE'nin kan pıhtısına alternatif olarak belirttiği iskele seçenekleri arasındadır [3]. Kalsiyum hidroksitin iki haftalık kullanımı da AAE'nin ikinci seans için belirttiği 1–4 haftalık aralıkla örtüşür [3]. İrrigasyon ESE önerileri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. [1,3].

PRF'nin kullanılmış olması, olumlu sonucun tek başına PRF'ye bağlanmasını gerektirmez. Ragab ve arkadaşlarının kan pıhtısı kullanılan protokolleri PRF eklenen protokollerle karşılaştırdığı randomize çalışmada, 12 ay sonunda gruplar arasında anlamlı fark gösterilmemiştir [5]. Meschi ve arkadaşlarının küçük, randomize olmayan çok merkezli çalışmasında da lökosit ve trombositten zengin fibrin eklenmesinin kök gelişiminde tutarlı bir üstünlüğü saptanmamıştır [6]. On beş randomize çalışmayı değerlendiren daha güncel bir meta-analizde, 12 aylık klinik ve radyografik başarı açısından PRF ile kan pıhtısı arasında anlamlı fark bulunmamıştır [7]. Çalışmaların hasta seçimi ve yöntemleri farklı olduğundan bu sonuçlar PRF'nin yararsızlığını da kanıtlamaz; bizim iki olgumuzun PRF'ye özgü bir etkiyi sınayacak karşılaştırma grubu yoktur.

Dens invajinatusun bulunduğu dişte anatomik karmaşıklık tanı ve dezenfeksiyon açısından dikkate değerdir; ancak olguya ait invajinasyon sınıfı veya üç boyutlu görüntüleme bulgusu sağlanmadığından anatomiye ilişkin daha ileri yorum yapılamaz. Serinin diğer sınırlılıkları iki olguyla sınırlı olması, kontrol grubunun bulunmaması, radyografların projeksiyon farkları ve değerlendirme süresinin henüz uzun dönem sonuca karşılık gelmemesidir. Sonuçlar bir başarı oranı veya PRF'nin bağımsız etkisini göstermez.

AAE, rejeneratif işlem sonrasında 6, 12 ve 24. aylarda klinik ve radyografik değerlendirme, ilk iki yıldan sonra ise yıllık takip önerir [3]. Bu iki olgunun bildirilen son kontrolleri ilk değerlendirme aralığı içindedir. Bundan sonraki kontrollerde periapikal alanın seyri, kök morfolojisi, koronal restorasyonun bütünlüğü ve pulpal test yanıtları aynı diş için tekrar

kaydedilirse geç değişiklikler daha güvenilir biçimde yorumlanabilir. Yeni görüntüleme gereksinimi, klinik soruya ve radyasyon gerekçesine göre ayrıca belirlenmelidir.

4. SONUÇ

Travma ve dens invajinatusla ilişkili pulpa nekrozu bulunan iki immatür dişte PRF kullanılan rejeneratif endodontik tedavinin ardından semptomsuz takip, periapikal lezyonda belirgin küçülme ve kök gelişiminin devamıyla uyumlu radyografik bulgular elde edildi. Vitalite yanıtı 21 numaralı dişte pozitif, 12 numaralı dişte negatiftir. Bu farklılık klinik, radyografik ve duyusal sonuçların ayrı ayrı raporlanması gerektiğini gösterir. Olguların uzun dönem kontrolleri ve standartlaştırılmış görüntüleme ile izlenmesi uygundur.

KAYNAKÇA

1. Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, Lambrechts P. European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. Int Endod J. 2016;49(8):717–723. doi:10.1111/iej.12629.

2. Duncan HF, Kirkevang LL, Peters OA, et al. Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. Int Endod J. 2023;56(S3):238–295. doi:10.1111/iej.13974.

3. American Association of Endodontists. Clinical Considerations for a Regenerative Procedure. Revised November 2022. https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2023/04/ConsiderationsForRegEndo_AsOfNov2022-4.pdf

4. Lei L, Chen Y, Zhou R, Huang X, Cai Z. Histologic and immunohistochemical findings of a human immature permanent tooth with apical periodontitis after regenerative endodontic treatment. J Endod. 2015;41(7):1172–1179. doi:10.1016/j.joen.2015.03.012.

5. Ragab RA, Abd El Lattif AE, El Dokky NA. Comparative study between revitalization of necrotic immature permanent anterior teeth with and without platelet rich fibrin: A randomized controlled trial. J Clin Pediatr Dent. 2019;43(2):78–85. doi:10.17796/1053-4625-43.2.2.

6. Meschi N, EzEldeen M, Garcia AET, et al. Regenerative endodontic procedure of immature permanent teeth with leukocyte and platelet-rich fibrin: A multicenter controlled clinical trial. J Endod. 2021;47(11):1729–1750. doi:10.1016/j.joen.2021.08.003.

7. Tsiolaki A, Theocharis D, Tsitsipas N, Fardi A, Kodonas K. Evaluation of platelet concentrates in regenerative endodontics: A systematic review and meta-analysis. Restor Dent Endod. 2025;50(4):e38. doi:10.5395/rde.2025.50.e38.

SERVO KONUM KONTROLCÜSÜNÜN VERİMLİ AYARLANMASI İÇİN SIRALAMA DUYARLI ÇOKLU DOĞRULUKLU PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Res. Asst. Dr. Dogan Can SAMUK
Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, 53100 Merkez, Rize
ORCID ID: 0000-0002-0620-7550

ÖZET
Kontrolcü parametrelerinin optimizasyonunda, her aday çözümün yüksek doğruluklu sayısal simülasyonla değerlendirilmesi hesaplama maliyetini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu çalışmada, kontrolcü ayarlama performansını korurken hesaplama yükünü azaltmak amacıyla sıralama duyarlı çoklu doğruluklu parçacık sürü optimizasyonu (RAFC-PSO) yaklaşımı incelenmiştir. Önerilen yaklaşım, doğru akım motoru tabanlı bir servo sisteminin oransal–integral–türevsel (PID) konum kontrolüne uygulanmıştır. Kontrolcünün örnekleme periyodu sabit tutulurken 10 ms, 2 ms ve 0,5 ms sayısal integrasyon adımlarına karşılık gelen üç farklı simülasyon doğruluk seviyesi kullanılmıştır. Aday çözümler başlangıçta düşük doğruluklu simülasyonlarla değerlendirilmiş ve önceden belirlenen maliyet karşılaştırma eşiklerine göre daha yüksek doğruluk seviyelerine geçirilmiştir. Kişisel ve küresel en iyi çözümler yalnızca yüksek doğruluklu doğrulama sonrasında güncellenerek yanıltıcı değerlendirmelerin kabul edilme riski azaltılmıştır.
Önerilen yaklaşım; sayısal doğruluk analizi, aday çözümlerin performans sıralamalarının karşılaştırılması, eşik duyarlılık analizi ve 20 bağımsız optimizasyon koşusu ile değerlendirilmiştir. Elde edilen kontrolcülerin nihai performansları, 0,1 ms integrasyon adımı kullanılarak bağımsız olarak doğrulanmıştır. Sonuçlar, seçilen RAFC-PSO yapılandırmasının geleneksel yüksek doğruluklu PSO yöntemine kıyasla ortalama optimizasyon süresini yaklaşık %59 azalttığını ve 2,44 kat hesaplama hızı sağladığını göstermiştir. Ayrıca yüksek doğruluklu simülasyon değerlendirmelerinin sayısı yaklaşık %78 azalırken, zaman ağırlıklı mutlak hata integrali (ITAE) ortalaması yalnızca %0,011 artmıştır. Bulgular, sayısal simülasyon doğruluğunun seçici biçimde kullanılmasının kontrolcü performansında belirgin bir bozulmaya yol açmadan hesaplama verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Önerilen strateji, simülasyon tabanlı kontrolcü parametre optimizasyonu için hesaplama açısından verimli ve uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Çoklu doğruluklu optimizasyon, parçacık sürü optimizasyonu; PID kontrol, servo konum kontrolü; hesaplama verimliliği, sayısal simülasyon.

RANKING-AWARE MULTI-FIDELITY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR EFFICIENT SERVO POSITION CONTROLLER TUNING

ABSTRACT
The computational cost of controller parameter optimization can become significant when each candidate solution requires a high-fidelity numerical simulation. This study investigates a ranking-aware multi-fidelity particle swarm optimization (RAFC-PSO) approach to reduce computational effort while maintaining controller tuning performance. The proposed approach is applied to the proportional–integral–derivative (PID) position control of a DC motor-based

servo system. Three numerical simulation fidelity levels, corresponding to integration time steps of 10 ms, 2 ms, and 0.5 ms, are employed while maintaining a fixed controller sampling period. Candidate solutions are initially evaluated using low-fidelity simulations, and progressively higher fidelity levels are employed according to predefined cost-comparison thresholds. Personal and global best solutions are updated only after high-fidelity verification, reducing the risk of accepting misleading evaluations.

The proposed approach is investigated through numerical accuracy analysis, candidate-ranking comparisons, threshold sensitivity analysis, and 20 independent optimization runs. Final controller performances are independently verified using a finer integration time step of 0.1 ms. The results demonstrate that the selected RAFC-PSO configuration reduces the average optimization time by approximately 59% compared with conventional high-fidelity PSO, corresponding to a computational speedup of 2.44 times. Furthermore, the number of high-fidelity evaluations decreases by approximately 78%, while the average time-weighted absolute error (ITAE) increases by only 0.011%. These findings indicate that selective allocation of numerical simulation fidelity can substantially improve computational efficiency without materially degrading the obtained controller performance. The proposed strategy offers a practical approach for computationally efficient simulation-based controller tuning.

Keywords: Multi-fidelity optimization; particle swarm optimization; PID control; servo position control; computational efficiency; numerical simulation

1. INTRODUCTION

The optimization of controller parameters is essential for achieving satisfactory dynamic performance, stability, and disturbance rejection in industrial control systems. Among various control strategies, proportional–integral–derivative (PID) controllers remain widely employed due to their simple structure, ease of implementation, and effectiveness in a broad range of applications. Nevertheless, determining appropriate controller gains can become challenging when nonlinear dynamics, actuator saturation, and external disturbances are considered (Åström and Hägglund 2006). Conventional tuning approaches may not provide an adequate balance between transient response, steady-state accuracy, and robustness under different operating conditions. Consequently, optimization-based tuning techniques have attracted considerable attention as alternatives to traditional parameter selection methods.

Particle swarm optimization (PSO), originally introduced by Kennedy and Eberhart (1995), is a population-based metaheuristic algorithm inspired by collective social behavior. Its search mechanism has subsequently been improved through modifications to particle velocity updates, inertia weighting, and convergence characteristics (Shi and Eberhart 1998; Clerc and Kennedy 2002). Owing to its relatively simple implementation and gradient-free optimization capability, PSO has been widely applied to controller parameter tuning. Gaing (2004) demonstrated the effectiveness of PSO-based PID tuning for an automatic voltage regulator system, while Chen et al. (2019) investigated PSO-based PID parameter optimization for servo control applications. These studies indicate that PSO can provide an effective framework for improving control performance. However, its computational requirements may increase significantly when each candidate controller must be evaluated using detailed numerical simulations.

Simulation-based optimization generally requires repeated evaluations of an objective function over a large number of candidate solutions. In engineering applications, high-fidelity numerical models are often computationally expensive, making the optimization process increasingly demanding as the number of design variables, population size, and iterations increases. This challenge has motivated the development of computationally efficient optimization techniques, including surrogate-based optimization, approximate objective function evaluation, and multi-

fidelity modeling. Jones et al. (1998) investigated efficient global optimization for expensive black-box functions, while Jin (2005) reviewed fitness approximation strategies in evolutionary computation. Surrogate-based optimization techniques have also been extensively examined as practical tools for reducing the computational requirements of engineering design problems (Queipo et al. 2005; Jin 2011).

Multi-fidelity optimization provides an alternative framework by combining models or simulations with different computational costs and levels of accuracy. The fundamental concept is to employ inexpensive evaluations during selected stages of the search process while reserving more accurate simulations for promising candidate solutions. Forrester et al. (2007) demonstrated the use of multiple fidelity levels through surrogate modeling, while Peherstorfer et al. (2018) presented a comprehensive review of multi-fidelity methods in optimization, uncertainty quantification, and inference. Kandasamy et al. (2019) further investigated multi-fidelity optimization using Gaussian process models, emphasizing the selective allocation of expensive evaluations. More recently, Li and Li (2026) systematically reviewed multi-fidelity optimization approaches and highlighted the importance of fidelity management in computationally expensive optimization problems.

The integration of multi-fidelity evaluation strategies into evolutionary optimization algorithms has also received increasing attention. Wang et al. (2018) investigated evolutionary multi-fidelity optimization and examined different fidelity management strategies within a PSO framework. Their findings demonstrated that changing simulation fidelity during optimization can reduce computational requirements and improve search efficiency. In the field of control engineering, Nobar et al. (2026) proposed a guided multi-fidelity Bayesian optimization framework for controller tuning using digital twins and experimental measurements. These developments demonstrate the potential of multi-fidelity approaches for reducing computational effort. However, a major concern remains regarding the reliability of objective function evaluations obtained from lower-fidelity simulations. Differences in numerical accuracy may lead to incorrect rankings of candidate solutions, particularly when their objective function values are close.

This issue is particularly relevant to PSO because personal and global best solutions directly influence particle movements and the subsequent optimization process. If a low-fidelity simulation incorrectly identifies one controller as superior to another, the resulting optimization decisions may be misleading. Accordingly, the present study investigates a ranking-aware fidelity control strategy integrated into PSO, referred to as RAFC-PSO. In the proposed approach, candidate PID controllers are initially evaluated using low-fidelity simulations and progressively transferred to higher fidelity levels according to predefined objective function comparison thresholds. Personal and global best solutions are updated only after high-fidelity verification. This strategy aims to reduce the number of computationally expensive simulations while limiting the influence of inaccurate low-fidelity evaluations on optimization decisions.

The proposed approach is evaluated using a DC motor-based servo position control system incorporating voltage saturation and an external load disturbance. Three numerical simulation fidelity levels are employed while maintaining a fixed controller sampling period. The effects of numerical fidelity on objective function accuracy, candidate ranking reliability, optimization time, and final controller performance are systematically investigated. In addition, different fidelity transition thresholds are examined, and the optimization results are evaluated through 20 independent runs. The main objective is to determine whether selective high-fidelity evaluation can provide substantial computational savings while preserving the performance of the optimized PID controller.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Servo position control system

A DC motor-based servo position control system was employed to evaluate the proposed optimization approach. The system consists of a DC motor, a PID controller, and a position feedback mechanism. The mathematical model incorporates the electrical and mechanical dynamics of the motor, allowing the effects of controller parameters on position tracking performance to be investigated.

The continuous-time dynamics of the DC motor are expressed as follows:

$$L\frac{di}{dt} = u - Ri - K_e\omega \tag{1}$$

$$J\frac{d\omega}{dt} = K_t i - B\omega - T_L \tag{2}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \tag{3}$$

where u is the armature voltage, i is the armature current, ω is the angular velocity, and θ is the angular position. R and L represent the armature resistance and inductance, respectively, while J and B denote the rotor inertia and viscous friction coefficient. Kt is the motor torque constant, Ke is the back electromotive force constant, and TL represents the external load torque.

The motor parameters were selected as J = 0.01 kg·m², B = 0.1 N·m·s/rad, R = 1 Ω, L = 0.5 H, Kt = 0.01 N·m/A, and Ke = 0.01 V·s/rad.

A discrete-time PID controller was implemented to regulate the angular position. The control signal was calculated using the proportional and integral terms together with a filtered derivative of the measured position. The controller structure can be expressed as:

$$u_{\text{raw}}(k) = K_p e(k) + K_i I(k) - K_d \omega_f(k) \tag{4}$$

where e(k) = θref(k) − θ(k) is the position tracking error, I(k) is the accumulated error, and ωf(k) represents the filtered derivative of the measured position. The derivative filter was implemented with a time constant of 0.03 s.

The control voltage was limited to the interval [−12, 12] V. A conditional integration anti-windup mechanism was employed to prevent unnecessary integral accumulation during actuator saturation. The controller sampling period was fixed at 10 ms for all simulation fidelity levels.

The reference angular position was set to 1 rad. To evaluate the controller response under an external disturbance, a constant load torque of 0.002 N·m was applied at t = 4 s and maintained until the end of the simulation. The total simulation duration was 10 s.

2.2. Particle swarm optimization

Particle swarm optimization (PSO) was employed to determine the controller parameters. Each particle represents a candidate PID controller defined by the parameter vector:

$$\mathbf{x}_i = [K_p, K_i, K_d] \tag{5}$$

The particles search the parameter space by updating their velocities and positions according to their individual best solutions and the best solution identified by the swarm.

The velocity and position update equations are given by:

$$v_i(k+1) = w(k)v_i(k) + c_1 r_1\left(pbest_i - x_i(k)\right) + c_2 r_2\left(gbest - x_i(k)\right) \tag{6}$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \tag{7}$$

where w is the inertia weight, c_1 and c_2 are the acceleration coefficients, and r_1 and r_2 are uniformly distributed random numbers between 0 and 1. The terms $pbest_i$ and gbest represent

the personal and global best positions, respectively.
The swarm size and maximum number of iterations were set to 30 and 50, respectively. The initial inertia weight was 0.9 and was multiplied by a damping factor of 0.99 after each iteration. Both acceleration coefficients were set to 1.5.
The PID parameter search intervals were defined as Kp ∈ [5, 250], Ki ∈ [0, 50], and Kd ∈ [0, 60]. The maximum particle velocity in each dimension was limited to 20% of the corresponding search interval.
The time-weighted absolute error (ITAE) was selected as the optimization objective function:

$$\mathrm{ITAE} = \int_0^T t\,|\theta_{\mathrm{ref}}(t) - \theta(t)|\,dt \tag{8}$$

where T = 10 s is the simulation duration. The objective function was numerically evaluated using the simulated position response. The purpose of the optimization was to minimize the ITAE value by determining suitable PID parameters.

2.3. Proposed ranking-aware fidelity control strategy

In conventional high-fidelity PSO, every candidate controller is evaluated using the same high-resolution simulation. Although this approach provides consistent numerical evaluations, the computational burden increases with the number of particles and optimization iterations.
To reduce this computational requirement, a ranking-aware fidelity control strategy was integrated into PSO. The resulting method, referred to as RAFC-PSO, employs three numerical simulation fidelity levels: low fidelity (LF), with an integration step of 10 ms; medium fidelity (MF), with 2 ms; and high fidelity (HF), with 0.5 ms. An additional reference fidelity (REF), corresponding to an integration step of 0.1 ms, was used for the final evaluation of optimized controllers.
The fidelity levels were obtained by changing the numerical integration step of the motor model while maintaining the controller sampling period at 10 ms. The motor differential equations were numerically solved using the explicit Euler method. Consequently, the different fidelity levels represented different numerical resolutions of the same physical system.
In the RAFC-PSO approach, candidate controllers are initially evaluated at the LF level. The resulting objective function value is compared with the corresponding particle's personal best objective value, previously verified using HF simulation.
A candidate is transferred from LF to MF evaluation when the following condition is satisfied:

$$J_{\mathrm{LF}}(\mathbf{x}_i) \le (1 + \delta_{\mathrm{LF}}) J_{\mathrm{HF}}(pbest_i) \tag{9}$$

where δLF represents the LF screening threshold. After MF evaluation, the candidate is transferred to HF evaluation when:

$$J_{\mathrm{MF}}(\mathbf{x}_i) \le (1 + \delta_{\mathrm{MF}}) J_{\mathrm{HF}}(pbest_i) \tag{10}$$

where δMF represents the MF screening threshold. If either condition is not satisfied, the candidate is rejected without proceeding to the next fidelity level. Otherwise, its objective function value is evaluated using the HF simulation.
The personal best solution is updated only when the HF-evaluated candidate provides a lower objective function value than the previously stored personal best. Similarly, the global best solution is updated only using HF-verified objective function values.
At initialization, all personal best solutions are evaluated at the HF level. This ensures that the stored best objective function values are consistently based on the same simulation fidelity

throughout the RAFC-PSO procedure.

Four screening threshold combinations were initially investigated: (δLF, δMF) = (0.08, 0.02), (0.05, 0.01), (0.03, 0.005), and (0.02, 0.002). These thresholds correspond to LF/MF tolerances of 8%/2%, 5%/1%, 3%/0.5%, and 2%/0.2%, respectively.

The screening thresholds control the trade-off between computational cost and the risk of rejecting promising candidate solutions. Larger thresholds permit more candidates to undergo higher-fidelity evaluation, whereas smaller thresholds reduce computational requirements but may increase the possibility of incorrect rejection. The thresholds are predefined comparison tolerances rather than guaranteed numerical error bounds.

2.4. Simulation setup and performance evaluation

All simulations and optimization procedures were implemented in MATLAB. The simulation settings and optimization parameters are summarized in Table 1.

Table 1. Simulation fidelity levels and experimental settings used in RAFC-PSO

Parameter	Values
Reference position	1 rad
Simulation duration	10 s
Controller sampling period	10 ms
Load torque	0.002 N·m
Voltage saturation	±12 V
Swarm size, maximum iterations and, independent optimization runs	30, 50, and 20
Proportional gain range (Kp)	[5, 250]
Integral gain range (Ki)	[0, 50]
Derivative gain range (Kd)	[0, 60]
LF integration step, MF integration step, HF integration step, REF integration step	10, 2, 0.5, and 0.1 ms

The numerical accuracy of the fidelity levels was first investigated using 100 candidate PID controllers. Objective function values obtained at the LF and MF levels were compared with those obtained using HF simulation. Relative ITAE differences and pairwise ranking reversal rates were calculated to evaluate the influence of numerical integration accuracy on candidate assessment.

A further analysis was performed using 100 PID candidates concentrated around a previously identified high-performing solution. In this analysis, REF simulations were employed as the numerical reference to investigate ranking reliability among closely performing candidate controllers.

The effects of screening thresholds on computational cost and final controller performance were subsequently investigated. Based on the threshold sensitivity analysis, three RAFC-PSO configurations were selected for repeated evaluation: 5%/1%, 3%/0.5%, and 2%/0.2%. Conventional HF-PSO was used as the baseline method.

Each method was executed for 20 independent optimization runs using different random seeds. Within each independent run, the same initial particle positions and random coefficients were used across the compared methods to provide consistent experimental conditions.

The final PID parameters obtained from each optimization run were independently evaluated using the REF integration step of 0.1 ms. Performance comparisons were based on the REF-

verified ITAE values rather than the objective function values obtained at different simulation fidelity levels.

The computational efficiency of the optimization methods was assessed using total optimization runtime, the number of LF, MF, and HF evaluations, and the speedup relative to conventional HF-PSO. The speedup was calculated as:

$$\text{Speedup} = \frac{T_{\text{HF-PSO}}}{T_{\text{RAFC-PSO}}} \tag{11}$$

where THF-PSO and TRAFC-PSO denote the optimization runtimes of the corresponding methods.

The performance of the optimization methods was summarized using the mean, median, standard deviation, best, and worst REF-ITAE values over the independent runs. These metrics were used to evaluate both computational efficiency and the consistency of the obtained controller solutions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the numerical results obtained using the proposed RAFC-PSO approach. The evaluation was conducted in four stages. First, the numerical accuracy and computational requirements of different simulation fidelity levels were investigated. Second, the reliability of candidate rankings was examined in a region containing closely performing PID controllers. Third, the effects of the fidelity screening thresholds were evaluated. Finally, conventional high-fidelity PSO (HF-PSO) and three RAFC-PSO configurations were compared over 20 independent optimization runs.

3.1. Numerical accuracy and computational cost

The initial analysis investigated the relationship between numerical simulation accuracy and computational cost. For this purpose, 100 PID controller candidates were evaluated using low-fidelity (LF), medium-fidelity (MF), and high-fidelity (HF) simulations. The HF results were used as the reference for calculating relative ITAE errors and ranking reversal rates. The results are presented in Table 2.

Table 2. Numerical accuracy and computational cost comparison of different simulation fidelity

Performance metric	LF	MF	HF
Mean relative ITAE error (%)	4.061	0.629	Reference
Median relative ITAE error (%)	0.585	0.079	Reference
Maximum relative ITAE error (%)	29.037	4.316	Reference
Ranking reversal rate (%)	1.636	0.263	Reference
Total simulation time (s)	0.131	0.237	0.779
Speedup relative to HF	5.96×	3.29×	1.00×

The LF simulations produced a mean relative ITAE error of 4.061%, whereas the corresponding error for MF simulations was 0.629%. The maximum relative errors were 29.037% and 4.316%, respectively. These results indicate that increasing numerical resolution substantially improves the accuracy of objective function evaluations.

However, this improvement was accompanied by higher computational requirements. The total simulation times for the 100 candidates were 0.131 s, 0.237 s, and 0.779 s for LF, MF, and HF, respectively. Accordingly, LF simulations were approximately 5.96 times faster than HF

simulations, while MF simulations provided a speedup of 3.29 times. The relationship between numerical accuracy and computational cost is illustrated in Figure 1.

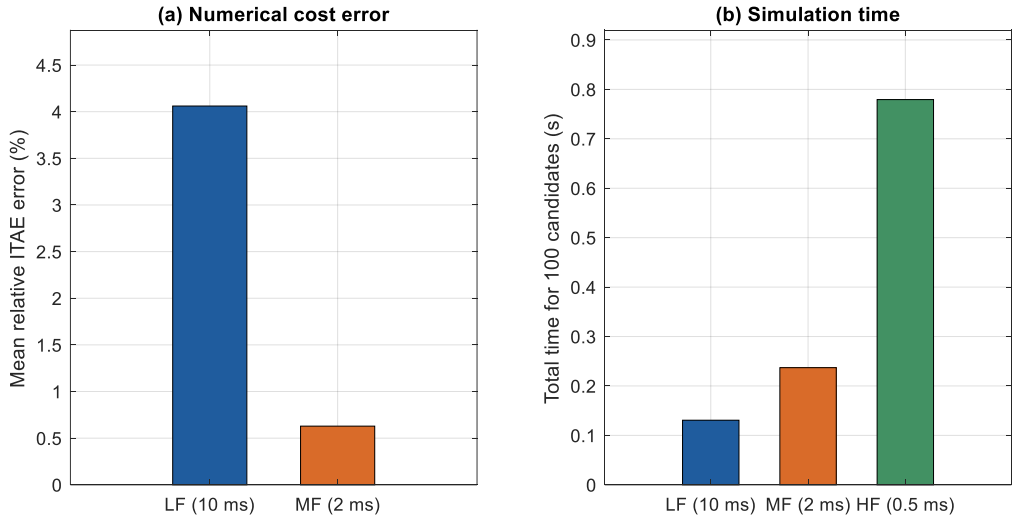


Figure 1. Numerical accuracy and computational cost at different fidelity levels.

These findings demonstrate the potential of lower-fidelity simulations to reduce optimization time. Nevertheless, the numerical errors observed at lower fidelity levels indicate that their objective function evaluations cannot always be treated as equivalent to those obtained from HF simulations.

The initial ranking analysis also revealed ranking reversal rates of 1.636% for LF and 0.263% for MF. Although these percentages were relatively low across the full candidate set, incorrect rankings may become more important when candidate solutions have similar objective function values.

Therefore, these results support the use of lower-fidelity simulations for preliminary candidate screening while emphasizing the importance of higher-fidelity verification before updating the best solutions in PSO.

3.2. Ranking reliability near the optimal region

To further investigate the reliability of numerical fidelity levels, a second analysis was performed using 100 PID candidates concentrated around a previously identified high-performing solution. Unlike the initial experiment, the numerical results were compared against reference-fidelity (REF) simulations using an integration step of 0.1 ms. The objective was to determine whether numerical errors could alter the ranking of candidate controllers, particularly when the differences in their performance were relatively small. The results are summarized in Table 3.

Table 3. Numerical accuracy and ranking reversal rates for closely located PID candidates

Performance metric	LF	MF	HF
Mean relative ITAE error (%)	2.435	0.334	0.071
Median relative ITAE error (%)	2.475	0.329	0.063
Maximum relative ITAE error (%)	5.505	0.811	0.573
Overall ranking reversal rate (%)	11.899	2.141	0.687
Top-20 ranking reversal rate (%)	22.632	6.316	1.579

The mean relative ITAE errors were 2.435%, 0.334%, and 0.071% for LF, MF, and HF simulations, respectively. These values demonstrate the improvement in numerical accuracy achieved by increasing the simulation fidelity.

A more important observation was obtained from the ranking reversal analysis. Across the complete set of candidates, the ranking reversal rates were 11.899% for LF, 2.141% for MF, and 0.687% for HF. When the analysis was restricted to the 20 best-performing candidates according to REF evaluations, the corresponding ranking reversal rates increased to 22.632%, 6.316%, and 1.579%. Figure 2 illustrates the differences between overall ranking reliability and ranking reliability among the best-performing candidates.

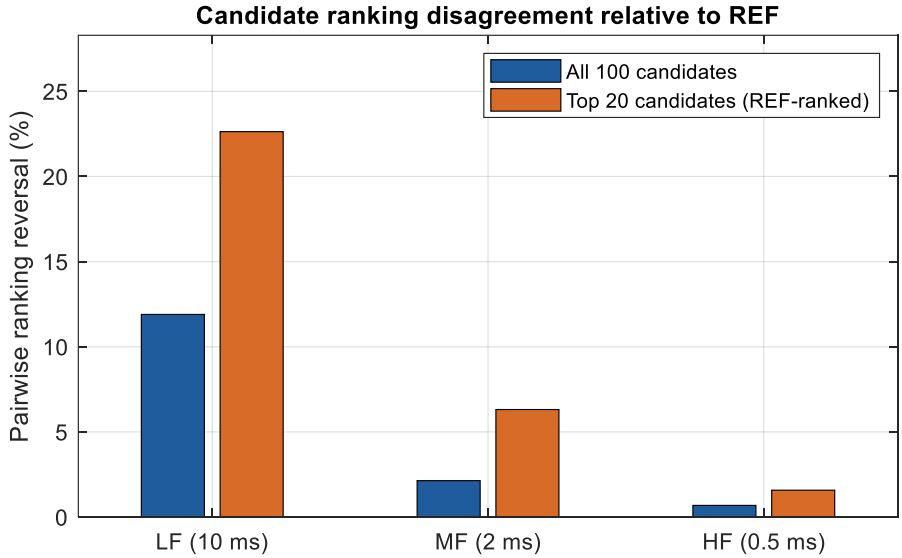


Figure 2. Ranking reversal rates for all candidates and the top-20 candidates

These results demonstrate that low-fidelity simulations may become less reliable for distinguishing closely performing controllers. In particular, the LF ranking reversal rate exceeded 22% among the top-20 candidates, despite its relatively low computational cost. This finding is important for PSO because the identification of personal and global best solutions depends on comparisons between candidate objective function values. Incorrect ranking decisions may cause the optimization algorithm to favor a controller that is not actually superior under more accurate numerical evaluation.

The results therefore provide a numerical justification for the proposed ranking-aware screening mechanism. By using LF and MF simulations to identify potentially promising candidates and requiring HF verification before updating personal and global best solutions, RAFC-PSO aims to reduce computational cost while limiting the influence of inaccurate candidate rankings.

3.3. Sensitivity analysis of fidelity screening thresholds

The computational efficiency and solution quality of RAFC-PSO depend on the selection of the LF and MF screening thresholds. Therefore, a preliminary sensitivity analysis was conducted using four threshold combinations: 8%/2%, 5%/1%, 3%/0.5%, and 2%/0.2%.

The threshold combinations determine how closely a candidate must approach the HF-verified personal best objective value before being transferred to the next fidelity level. Larger thresholds allow more candidates to undergo MF and HF evaluations, whereas smaller thresholds impose stricter screening conditions. The results of the threshold sensitivity experiment are illustrated in Figure 3.

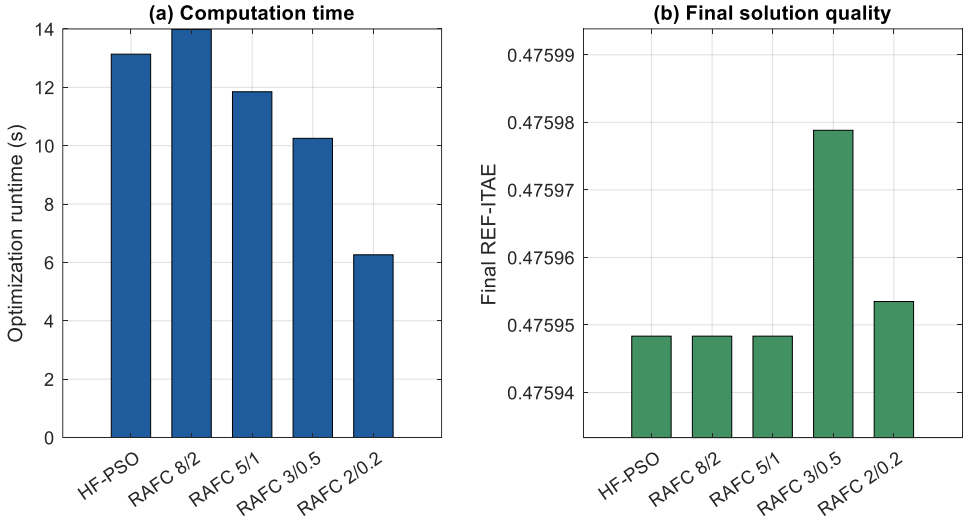


Figure 3. Effect of RAFC screening thresholds on optimization time and final solution quality

The conventional HF-PSO method required 13.136 s and produced a REF-ITAE value of 0.475948. The RAFC configuration with thresholds of 8%/2% produced the same REF-ITAE value but required 13.982 s. This indicates that permissive screening thresholds may introduce additional computational overhead without providing a reduction in total optimization time.

Reducing the thresholds to 5%/1% decreased the optimization time to 11.847 s while maintaining the same REF-ITAE value of 0.475948. Further reductions in the screening thresholds resulted in lower computational requirements. The 3%/0.5% configuration required 10.252 s and produced a REF-ITAE value of 0.475979. The strictest configuration, 2%/0.2%, reduced the optimization time to 6.260 s while obtaining a REF-ITAE value of 0.475953.

The number of HF evaluations also decreased substantially as the screening thresholds became stricter. Compared with 1,530 HF evaluations in conventional HF-PSO, the 2%/0.2% configuration required only 385 HF evaluations in this experiment.

These findings demonstrate that fidelity screening thresholds directly influence the balance between computational efficiency and final solution quality. Although stricter screening reduces the number of expensive evaluations, it may also reject potentially useful candidates. Consequently, an improvement observed in an individual optimization run does not necessarily guarantee consistent performance across different random initializations.

Based on this preliminary analysis, the 5%/1%, 3%/0.5%, and 2%/0.2% configurations were selected for further evaluation using 20 independent optimization runs.

3.4. Performance comparison over 20 independent runs

To evaluate the consistency of the proposed approach, conventional HF-PSO and the three selected RAFC-PSO configurations were tested over 20 independent optimization runs. The same random initialization was used across the compared methods within each run, while different random seeds were employed between runs.

The final PID controllers obtained from each run were independently evaluated using REF simulations with an integration step of 0.1 ms. This ensured that all methods were compared using the same numerical accuracy level. The statistical results are presented in Table 4.

Table 4. Statistical performance and computational efficiency over 20 independent optimization runs

Method	Mean REF-ITAE	SD	Best	Worst	Mean time (s)	Time reduction (%)
HF-PSO	0.476346	0.000865	0.475948	0.479399	13.752	—
RAFC 5/1	0.476345	0.000865	0.475944	0.479399	11.025	19.8
RAFC 3/0.5	0.476335	0.000884	0.475936	0.479471	8.025	41.6
RAFC 2/0.2	0.476398	0.000797	0.475943	0.478873	5.629	59.1

The mean REF-ITAE values obtained using HF-PSO, RAFC 5%/1%, RAFC 3%/0.5%, and RAFC 2%/0.2% were 0.476346, 0.476345, 0.476335, and 0.476398, respectively.

These results indicate that the average objective function values were very close across the four configurations. The lowest mean REF-ITAE was obtained using RAFC 3%/0.5%, although its difference from the conventional HF-PSO baseline was small.

The standard deviations were also similar, ranging from approximately 0.000797 to 0.000884. This indicates that the observed variation in final solution quality across the independent runs was limited for all four methods.

The computational requirements, however, showed substantial differences. The average optimization time of conventional HF-PSO was 13.752 s. In comparison, RAFC 5%/1%, RAFC

3%/0.5%, and RAFC 2%/0.2% required average times of 11.025 s, 8.025 s, and 5.629 s, respectively. These values correspond to runtime reductions of 19.8%, 41.6%, and 59.1% relative to conventional HF-PSO.

The decrease in computational time was accompanied by a reduction in the number of high-fidelity simulations. While conventional HF-PSO required 1,530 HF evaluations per run, the average numbers for RAFC 5%/1%, RAFC 3%/0.5%, and RAFC 2%/0.2% were 778.85, 540.15, and 336.15, respectively.

The strictest RAFC configuration therefore reduced the number of HF evaluations by approximately 78.0%. Figure 4 presents the distribution of REF-ITAE values and the mean optimization times obtained over the 20 independent runs.

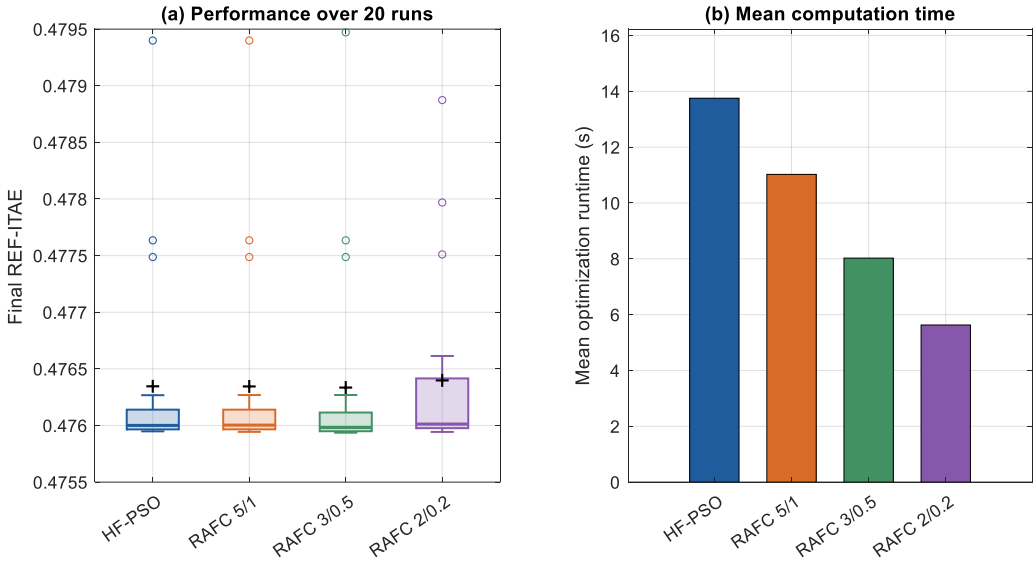


Figure 4. Distribution of REF-ITAE values and mean computational time over 20 independent optimization runs

The REF-ITAE distributions indicate that the four configurations produced broadly comparable controller performance under the investigated conditions. In contrast, the mean runtime comparison clearly demonstrates the computational advantage of selective high-fidelity evaluation.

The RAFC 2%/0.2% configuration provided the greatest computational saving, achieving an average speedup of approximately 2.44 times relative to HF-PSO. Its mean REF-ITAE was only approximately 0.011% higher than that of the baseline method.

Overall, these results demonstrate that the proposed RAFC-PSO approach can substantially reduce the computational requirements of simulation-based PID controller tuning while maintaining similar final solution quality for the investigated servo position control system.

Nevertheless, the computational efficiency and solution quality remain dependent on the selected screening thresholds and the numerical characteristics of the simulated system. Therefore, the results should be interpreted within the scope of the considered DC motor model and optimization settings.

4. CONCLUSIONS

This study investigated a ranking-aware multi-fidelity particle swarm optimization approach (RAFC-PSO) for computationally efficient PID controller tuning in a DC motor-based servo position control system. The proposed approach employed low-, medium-, and high-fidelity

simulations to selectively evaluate candidate controllers while ensuring that personal and global best solutions were updated only after high-fidelity verification.

The numerical accuracy analysis demonstrated that lower-fidelity simulations substantially reduced computational cost but introduced objective function errors and potential ranking inconsistencies. In particular, the ranking reversal rate of low-fidelity simulations reached 22.632% among the 20 best-performing candidate controllers, highlighting the importance of reliable candidate comparisons during optimization.

The comparison conducted over 20 independent optimization runs demonstrated that the proposed approach achieved substantial computational savings while maintaining similar final controller performance. The RAFC configuration with screening thresholds of 2%/0.2% reduced the average optimization time by 59.1% and the number of high-fidelity evaluations by 78.0% compared with conventional HF-PSO. This corresponds to an average computational speedup of approximately 2.44 times, while the mean reference-fidelity ITAE increased by only approximately 0.011%.

These findings indicate that selective high-fidelity evaluation can be an effective strategy for reducing the computational requirements of simulation-based controller optimization. Rather than performing expensive simulations for every candidate solution, computational resources can be allocated more efficiently while preserving comparable final solution quality.

Nevertheless, the present study was limited to a single simulated servo position control system and predefined fidelity screening thresholds. Future research will focus on adaptive threshold selection, calibration-based fidelity management, and the evaluation of the proposed approach on different control systems and experimentally validated platforms.

REFERENCES

Åström KJ, Hägglund T. (2006). Advanced PID Control. ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society. ISBN: 978-1-55617-942-6.

Chen L, Xiong X, Zheng Y, Zhang Y, Zhang G, Wu X, Feng W. (2019). Parameter tuning of PID controller of servo system based on particle swarm optimization algorithm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 533, 012022. https://doi.org/10.1088/1757-899X/533/1/012022

Clerc M, Kennedy J. (2002). The particle swarm—explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(1), 58–73. https://doi.org/10.1109/4235.985692

Forrester AIJ, Sóbester A, Keane AJ. (2007). Multi-fidelity optimization via surrogate modelling. Proceedings of the Royal Society A 463(2088), 3251–3269. https://doi.org/10.1098/rspa.2007.1900

Gaing ZL. (2004). A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system. IEEE Transactions on Energy Conversion 19(2), 384–391. https://doi.org/10.1109/TEC.2003.821821

Jin Y. (2005). A comprehensive survey of fitness approximation in evolutionary computation. Soft Computing 9(1), 3–12. https://doi.org/10.1007/s00500-003-0328-5

Jin Y. (2011). Surrogate-assisted evolutionary computation: Recent advances and future challenges. Swarm and Evolutionary Computation 1(2), 61–70. https://doi.org/10.1016/j.swevo.2011.05.001

Jones DR, Schonlau M, Welch WJ. (1998). Efficient global optimization of expensive black-box functions. Journal of Global Optimization 13, 455–492. https://doi.org/10.1023/A:1008306431147

Kandasamy K, Dasarathy G, Oliva J, Schneider J, Póczos B. (2019). Multi-fidelity Gaussian process bandit optimisation. Journal of Artificial Intelligence Research 66, 151–196. https://doi.org/10.1613/jair.1.11288

Kennedy J, Eberhart R. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, 1942–1948. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968

Li K, Li F. (2026). Multi-fidelity methods for optimization: A survey. ACM Computing Surveys 58(12), Article 298, 1–38. https://doi.org/10.1145/3801959

Nobar M, Keller JP, Forino A, Lygeros J, Rupenyan A. (2026). Guided multi-fidelity Bayesian optimization for data-driven controller tuning with digital twins. IEEE Robotics and Automation Letters 11(5), 5294–5301. https://doi.org/10.1109/LRA.2026.3671557

Peherstorfer B, Willcox K, Gunzburger M. (2018). Survey of multifidelity methods in uncertainty propagation, inference, and optimization. SIAM Review 60(3), 550–591. https://doi.org/10.1137/16M1082469

Queipo NV, Haftka RT, Shyy W, Goel T, Vaidyanathan R, Tucker PK. (2005). Surrogate-based analysis and optimization. Progress in Aerospace Sciences 41(1), 1–28. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2005.02.001

Shi Y, Eberhart R. (1998). A modified particle swarm optimizer. Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 69–73. https://doi.org/10.1109/ICEC.1998.699146

Wang H, Jin Y, Doherty J. (2018). A generic test suite for evolutionary multifidelity optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 22(6), 836–850. https://doi.org/10.1109/TEVC.2017.2758360

RELATIONAL AGENCY IN THE ENGLISH NOVEL: NARRATIVE AUTHORITY AND THE CONTROL OF INFORMATION IN EMILY BRONTË'S *WUTHERING HEIGHTS*

Dr. Rahime BÜYÜKKURT
Erzincan Binali Yıldırım University, School of Foreign Languages, Yalnızbağ, 24002 Erzincan
ORCID ID: 0000-0002-0467-2598

ABSTRACT
This study examines how access to information and the regulation of communication shape characters' opportunities for action in Emily Brontë's *Wuthering Heights* (1847) through the lens of relational agency. Drawing on Emirbayer and Mische's (1998) temporal and relational conception of agency and Mackenzie and Stoljar's (2000) discussion of relational autonomy, it focuses on Nelly Dean's interventions in the circulation of letters. Using comparative close reading, the study examines letter-related episodes in Chapters 15 and 21 and considers developments in Chapter 22 to assess the limits of control over information. In Chapter 15, Nelly delays the delivery of Heathcliff's letter but subsequently facilitates his meeting with Catherine; in Chapter 21, she intervenes to end young Cathy's correspondence with Linton, while Chapter 22 shows that control over letters remains contested. The comparison suggests that Nelly's socially subordinate position does not prevent her from influencing others' opportunities for action. However, her interventions are also shaped and constrained by competing intentions, unequal access to information, and the responses of other characters. Her dual position as participant and narrator further connects the mediation of communication within the fictional world to the selective presentation of events to readers. The study thus argues that agency in Brontë's novel emerges through situated decisions and shifting interpersonal dependencies, rather than through individual choice or social status alone.
Keywords: Relational agency, English novel, narrative authority, control of information, Wuthering Heights.

1. INTRODUCTION
Emily Brontë's Wuthering Heights (1847) has been examined from various critical perspectives, particularly in relation to representations of emotional excess, economic structures, and patriarchal power relations (Hensley, 2025; Krauze, 2025; Nikravesh, 2025). While these aspects of the novel remain significant in existing critical literature, recent studies have also drawn attention to how events are narrated and how information about the characters is organized by the narrators. Tytler (2023) examines the tensions between Nelly Dean's position as a servant and her conduct, while Du (2025) discusses the role of Nelly's narrative interventions in shaping the interpretation of events. Cabello Bravo (2025), meanwhile, considers how Nelly's and Lockwood's narratives influence the representation of Catherine and Heathcliff for readers. These studies demonstrate that the novel's narrative structure does more than provide a means of recounting events; it also contributes to the formation of the meanings attributed to them. Indeed, Lockwood describes Nelly Dean as "a very fair narrator" (Brontë, 1847/1889, p. 147). This assessment, however, becomes questionable when Nelly's involvement in the events she recounts and her direct interventions in communication between the characters are taken into consideration.
Nelly Dean's reliability as a narrator has long been a subject of debate in the critical history of

the novel. Hafley (1958) emphasizes the role of Nelly's actions in the tragic developments of the narrative, while Shunami (1973) questions whether her account can be regarded as an impartial representation of events. However, assessing Nelly's reliability and examining the conditions under which she is able to intervene in the course of events are two distinct concerns. The former focuses on how narrated events should be interpreted, whereas the latter addresses the circumstances that make Nelly's actions possible and the effects of those actions on other characters.

This distinction is particularly important in relation to the concept of narrative authority. Lanser (1992) explores the relationship between narrative voice, social position, and authority, demonstrating that the narrator's position cannot be understood merely as a formal feature of the text. In the present study, narrative authority refers to the influence a narrator exercises through the selection, organization, interpretation, and presentation of information about events to readers. Such authority, however, does not necessarily imply that the account is accurate or impartial. In *Wuthering Heights*, Nelly recounts past events to Lockwood, who subsequently incorporates her account into his own frame narrative. Nelly's interpretations of events thus become an important part of the process through which readers acquire information about the story.

Nelly's social position is also closely connected to this process. Her longstanding relationships with the Earnshaw and Linton families provide her with extensive access to information about their private lives. Tytler (2023) examines the tensions between Nelly's responsibilities as a servant and her conduct, while Mandici (2023) explores how reading and writing practices in the novel relate to female characters' access to knowledge and their narrative positions. Nevertheless, there is an important distinction between Nelly's access to information and her ability to influence whether that information reaches other characters. The episodes involving correspondence offer a particularly useful context for examining this distinction.

Britton (2019) discusses the novel's relationship with the epistolary tradition and the functions of different forms of communication within its narrative structure, while Pike (2009) examines how Isabella's letter enables the expression of a distinct experience and perspective. These studies highlight the narrative significance of written communication in the novel. However, what matters for the characters' actions is not only the information conveyed by letters, but also to whom, when, and under what circumstances that information is delivered. In this study, the control of information refers to interventions that affect characters' access to information or the conditions under which communication can continue. This concept is distinct from narrative authority: the former concerns communication between characters, whereas the latter concerns how that communication is presented to readers.

Relational agency provides a theoretical framework for examining these two dimensions together. Emirbayer and Mische (1998) conceptualize agency as a process shaped by past experiences, future expectations, and evaluations of present circumstances. Burkitt (2016), meanwhile, emphasizes that actions are shaped through relationships and interactions with others. Nevertheless, acknowledging the significance of relational conditions does not require disregarding individuals' capacities for decision-making (Sugarman & Martin, 2011). These perspectives make it possible to examine Nelly's interventions not merely in terms of her personal intentions or social position, but also in relation to the actions of other characters. Mackenzie and Stoljar's (2000) approach to relational autonomy offers a complementary perspective, particularly for examining situations in which one character restricts another's available choices.

Within this framework, the present study examines how Nelly Dean's interventions in

correspondence shape other characters' opportunities for action. Through comparative close reading, the analysis focuses on the delayed delivery of Heathcliff's letter to Catherine in Chapter 15, the restriction of correspondence between young Cathy and Linton in Chapter 21, and Heathcliff's use of letters to exert pressure on Cathy in Chapter 22. Rather than seeking to reach a definitive judgment about Nelly's reliability, the study aims to explain how the regulation of access to information affects characters' opportunities for action and how these processes relate to Nelly's narrative authority.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Method and Scope of Analysis

This study employs comparative close reading to examine the episodes involving correspondence in Chapters 15 and 21 of Wuthering Heights, together with the developments presented in Chapter 22. The analysis focuses on the conditions that make Nelly Dean's interventions in communication possible, the effects of these interventions on other characters' opportunities for action, and the ways in which Nelly narrates these events. The 1889 edition of the novel published by Smith, Elder & Co. serves as the primary text.

The analysis compares the ways in which letters are delivered, delayed, concealed, and destroyed, as well as the characters' responses to these actions. Relational agency is employed as a theoretical perspective that emphasizes how actions are shaped through relationships with others and changing circumstances (Emirbayer & Mische, 1998; Burkitt, 2016). Narrative authority is examined in relation to Nelly's dual position as both a participant in and a narrator of these events. Interpretations are limited to the actions and statements explicitly presented in the novel.

2.2. Delaying the Letter and Facilitating Communication: Chapter 15

In Chapter 15, Nelly delays the delivery of Heathcliff's letter to Catherine for three days. This delay demonstrates her ability to influence the timing of communication between the characters. However, the fact that Heathcliff had pressured her into agreeing to deliver the letter in the preceding chapter indicates that her decision was not entirely independent.

When recounting her agreement with Heathcliff in Chapter 14, Nelly reflects on her own conduct by asking, "Was it right or wrong?" (Brontë, 1847/1889, p. 146). This question is significant because Nelly does not merely report her intervention but also questions its justification. She subsequently explains that she believed the arrangement might prevent a more serious conflict and contribute to an improvement in Catherine's condition. Readers therefore learn about the reasons behind Nelly's decision through her retrospective explanations rather than through the events themselves.

The arrangements Nelly makes on the day she delivers the letter indicate that her intervention extends beyond the transmission of a written message. After waiting for Edgar to leave for church, she leaves doors open that would normally remain closed and sends another servant to the village by claiming that Catherine has asked for oranges (Brontë, 1847/1889, p. 147). These actions suggest that Nelly deliberately arranges the conditions that will facilitate Heathcliff's entrance into the house.

Nevertheless, Nelly's role in facilitating communication does not mean that she controls every stage of the meeting. When Catherine receives the letter, she initially struggles to understand its contents. Nelly explains that the letter is from Heathcliff and that he wishes to see her. She thus acts not only as the person delivering the letter but also as an intermediary who communicates the meaning of the written message to Catherine. Heathcliff, however, enters the house without waiting for Nelly to bring him a response. Catherine responds to his arrival, and Heathcliff enters the room before Nelly reaches the door (Brontë, 1847/1889, pp. 148–149).

These details highlight the relationship between Nelly's influence and the actions of other characters. By delaying the letter, Nelly restricts Catherine's access to information, while her subsequent arrangements facilitate communication. Yet the meeting also depends on Heathcliff's initiative and Catherine's response. Nelly's agency, therefore, cannot be understood as a capacity for control exercised independently of the actions of others.

The narrative dimension of this episode is equally significant. Readers do not gain access to the complete contents of Heathcliff's letter. Instead, the circumstances surrounding its delivery and Catherine's initial response are presented primarily through Nelly's account. Her role in delivering the letter thus intersects with her role in shaping readers' knowledge of it. These roles, however, remain distinct: the former concerns communication between characters, while the latter concerns how the event is presented to readers.

2.3. Confiscating Letters and Restricting Opportunities for Action: Chapter 21

In Chapter 21, Nelly's intervention concerns the secret correspondence between young Cathy and Linton Heathcliff. When Edgar Linton opposes further meetings between the two, Cathy wishes to send Linton a brief explanation. Nelly refuses, believing that this would lead to further correspondence. Cathy nevertheless sends her letter with the help of a milk carrier and begins receiving regular replies from Linton (Brontë, 1847/1889, pp. 204–205).

This development demonstrates that Nelly's initial intervention does not eliminate Cathy's desire to communicate. Cathy finds an alternative means of overcoming the restriction imposed on her. Nelly's attempt to control communication and Cathy's response are therefore not independent actions but develop in relation to one another.

After some time, Nelly becomes suspicious of the letters Cathy has been concealing. Finding a suitable key among her own, she gains access to Cathy's private correspondence. She discovers letters from Linton in the drawer and, after reading them, largely dismisses their contents as worthless and childish. In describing her impression of the letters, she uses the expression "very worthless trash" (Brontë, 1847/1889, p. 205).

This expression is significant for examining Nelly's narrative authority. Readers encounter Nelly's judgment about the letters without having access to their complete contents. Nelly also suspects that some of the expressions may have been borrowed from someone more experienced than Linton. However, this remains her suspicion and should not be treated as direct evidence that another person wrote the letters.

Nelly's intervention extends beyond the confiscation of the letters. She also retrieves and reads another letter Cathy has entrusted to the milk carrier. Nelly thus intervenes in both the letters received from Linton and the written messages sent by Cathy (Brontë, 1847/1889, p. 205). This demonstrates that she does not merely evaluate information brought to her attention but actively seeks access to the private communication of others.

When Cathy discovers that the letters are missing, she becomes deeply distressed and begs Nelly not to inform her father about the correspondence. Nelly places Cathy under pressure by suggesting that she could show the letters to Edgar. Eventually, Cathy agrees to their destruction in exchange for keeping the correspondence secret. However, as the letters are being burned, she asks to preserve a few of them and even burns her fingers while attempting to retrieve pieces from the fire (Brontë, 1847/1889, pp. 206–207).

This episode raises questions about the nature of Cathy's consent to the destruction of the letters. Cathy does not initially wish to have them destroyed. She accepts this outcome because of the possibility that her father might discover the correspondence. Her decision is therefore made within a set of options defined and restricted by Nelly. Viewed through Mackenzie and Stoljar's (2000) approach to relational autonomy, the episode illustrates how opportunities for

decision-making may be shaped by power relations between individuals.

Cathy's attempts to save the letters also reveal the significance of these written documents to her. The letters that Nelly dismisses as worthless represent tangible traces of a relationship Cathy wishes to maintain. The disagreement between the two characters thus concerns not only whether communication should continue but also their differing assessments of the letters' value. By destroying them, Nelly places her own judgment above Cathy's preference.

One of the most significant narrative aspects of Nelly's intervention is the final note she sends to Linton. Nelly writes a message informing him that Cathy will no longer receive letters. The phrase "as she will not receive them" (Brontë, 1847/1889, p. 207) presents Cathy's future conduct as a settled decision. Yet readers are aware that this outcome has emerged largely through Nelly's pressure rather than Cathy's own wishes.

An important relationship between written communication and narrative authority becomes apparent here. While the complete contents of Linton's letters are not reproduced, Nelly's final note is presented directly in the novel. Thus, Cathy and Linton's correspondence is conveyed largely through Nelly's evaluations, whereas Nelly's own words announcing its termination are made available to readers. This narrative difference suggests that Nelly not only intervenes in communication but also influences how readers come to understand that intervention.

Nevertheless, Cathy's earlier success in sending a letter despite Nelly's prohibition demonstrates that Nelly does not possess absolute control over communication. Although she confiscates the letters and announces the end of the correspondence, she cannot determine all the consequences of her intervention. This limitation becomes more evident through Heathcliff's actions in the following chapter.

2.4. The Limits of Control over Information: Chapter 22

In Chapter 22, when Heathcliff encounters Cathy, he claims to possess the letters she sent to Linton. Declaring, "I've got your letters," he threatens to show them to Edgar if Cathy challenges him (Brontë, 1847/1889, p. 211).

This statement reveals the limits of Nelly's intervention in the preceding chapter. Nelly destroyed the letters Cathy had received from Linton, whereas Heathcliff claims to possess the letters Cathy sent to him. The destruction of documents held by one participant in the correspondence therefore does not mean that all information associated with the exchange has been eliminated.

Heathcliff's use of the letters can be compared with Nelly's earlier intervention. Nelly uses the possibility of informing Cathy's father to pressure her into ending the correspondence, while Heathcliff employs a similar threat to achieve his own purposes. Although their motives and objectives differ, the possibility of disclosing private correspondence influences Cathy's opportunities for action in both situations.

Heathcliff further claims that Linton has suffered greatly from the lack of communication with Cathy and that his health has deteriorated. Nelly does not believe these claims, but Cathy wishes to explain that ending the correspondence was not her own decision. Faced with Cathy's determination, Nelly eventually changes her position and agrees to accompany her the following day (Brontë, 1847/1889, pp. 211–213).

This development demonstrates that influence does not operate solely from Nelly toward Cathy. Cathy's emotional responses and decisions also affect Nelly's subsequent actions. From the perspective of Burkitt's (2016) approach to relational agency, this illustrates how opportunities for action are reconfigured through changing conditions of interaction.

2.5. Comparative Discussion

Considered together, the episodes demonstrate that Nelly Dean can influence the circulation of

information but cannot independently determine the outcomes of communication. In Chapter 15, she delays the delivery of a letter while also facilitating a meeting; in Chapter 21, she attempts to terminate a correspondence; and in Chapter 22, she reconsiders her position in response to the actions of other characters.

These differences suggest that Nelly's agency cannot be explained as a fixed personal attribute. Her decisions are connected to relational circumstances, including Heathcliff's pressure, Catherine's condition, Edgar's authority, and young Cathy's desire to maintain communication. At the same time, Nelly's interventions alter the information available to other characters and the actions they are able to undertake.

A second dimension of the analysis concerns Nelly's position as both a participant in and a narrator of the events. Particularly in Chapters 15 and 21, the fact that readers do not receive the complete contents of the letters makes Nelly's evaluations an important source of information. However, Lockwood's incorporation of Nelly's account into his own frame narrative demonstrates that her authority is itself subject to another level of narrative mediation. Thus, while the control of information affects the conditions under which characters communicate and act, narrative authority concerns the information through which readers evaluate these interventions. Nelly's influence at both levels is a defining feature of her position in the novel. Nevertheless, the characters' responses to one another and the novel's layered narrative structure reveal the limits of that influence.

3. CONCLUSION

This study examined Nelly Dean's interventions in correspondence from the perspectives of relational agency and narrative authority. The comparative close reading demonstrates that Nelly can restrict access to information or facilitate communication, but that the consequences of her interventions vary according to the actions of other characters.

The delayed delivery of a letter and the facilitation of a meeting in Chapter 15, the restriction of correspondence in Chapter 21, and Heathcliff's use of letters as a means of pressure in Chapter 22 demonstrate that control over information is not concentrated in the hands of a single character. The relational nature of agency becomes evident not only in Nelly's influence on other characters' opportunities for action but also in the ways her own decisions change in response to their actions.

The study further identifies a connection between Nelly's interventions in the circulation of information and her subsequent narration of these events. Narrative authority and the control of information thus emerge as two distinct but interrelated dimensions of analysis.

The study contributes to existing discussions of Nelly's reliability and social position by extending them through an examination of how characters' opportunities for action are shaped within particular episodes involving correspondence. Nevertheless, the analysis is limited to selected chapters and does not seek to provide a comprehensive explanation of agency throughout the novel.

DECLARATION of GENERATIVE AI USE

OpenAI's ChatGPT was used to assist with manuscript drafting, language refinement, and English translation, based on the author's research materials and academic direction. The author retains full responsibility for the final manuscript.

REFERENCES

Brontë, E. (1889). Wuthering Heights. In *Wuthering Heights and Agnes Grey* (pp. 19–300). Smith, Elder & Co. (Original work published 1847).

Britton, J. M. (2019). Wuthering Heights and the relics of the epistolary novel. In *Vicarious narratives: A literary history of sympathy, 1750–1850* (pp. 180–208). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198846697.003.0006

Burkitt, I. (2016). Relational agency: Relational sociology, agency and interaction. *European Journal of Social Theory, 19*(3), 322–339. https://doi.org/10.1177/1368431015591426

Cabello Bravo, A. (2025). 'Written by an eagle': The domestication of character through nature in Emily Brontë's Wuthering Heights. *Brontë Studies, 50*(3), 293–306. https://doi.org/10.1080/14748932.2025.2455748

Du, C. (2025). Voice beyond discourse: Nelly's narrative intervention and narrative ethics in Wuthering Heights. *World Journal of Education and Humanities, 7*(2), 9–23. https://doi.org/10.22158/wjeh.v7n2p9

Emirbayer, M., & Mische, A. (1998). What is agency? *American Journal of Sociology, 103*(4), 962–1023. https://doi.org/10.1086/231294

Hafley, J. (1958). The villain in Wuthering Heights. *Nineteenth-Century Fiction, 13*(3), 199–215. https://doi.org/10.2307/3044379

Hensley, N. K. (2025). The mental grammar of Atlantic extraction: Wuthering Heights. In Action without hope: Victorian literature after climate collapse (pp. 87–135). University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226838076.003.0003

Krauze, O. (2025). Depathologising excess in Wuthering Heights. Brontë Studies, 50(1–2), 7–21. https://doi.org/10.1080/14748932.2025.2458021

Lanser, S. S. (1992). *Fictions of authority: Women writers and narrative voice*. Cornell University Press. https://doi.org/10.7298/t960-ht64

Mackenzie, C., & Stoljar, N. (2000). Introduction: Autonomy refigured. In C. Mackenzie & N. Stoljar (Eds.), *Relational autonomy: Feminist perspectives on autonomy, agency, and the social self* (pp. 3–31). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780195123333.003.0001

Mandici, M. E. (2023). Self-education and narrative power in Emily Brontë's Wuthering Heights: (Re)discovering marginal women characters. *American & British Studies Annual, 16*, 59–71. https://doi.org/10.46585/absa.2023.16.2502

Nikravesh, N. N. (2025). Catherine Earnshaw's ghost story: Wuthering Heights as narrative of female revenge. Brontë Studies, 50(1–2), 52–67. https://doi.org/10.1080/14748932.2025.2466479

Pike, J. E. (2009). "My name was Isabella Linton": Coverture, domestic violence, and Mrs. Heathcliff's narrative in Wuthering Heights. *Nineteenth-Century Literature, 64*(3), 347–383. https://doi.org/10.1525/ncl.2009.64.3.347

Shunami, G. (1973). The unreliable narrator in Wuthering Heights. *Nineteenth-Century Fiction, 27*(4), 449–468. https://doi.org/10.2307/2933519

Sugarman, J., & Martin, J. (2011). Theorizing relational agency. *Journal of Constructivist Psychology, 24*(4), 283–289. https://doi.org/10.1080/10720537.2011.593455

Tytler, G. (2023). The presentation of Nelly Dean as a servant in Wuthering Heights. *Brontë Studies, 48*(1–2), 23–32. https://doi.org/10.1080/14748932.2022.2121629

PUNİCALAGİN: KİMYASAL ÖZELLİKLERİ, METABOLİZMASI VE BİYOLOJİK AKTİVİTELERİ

Diyetisyen Sude SU
Karabuk University, Institute of Graduate Programs, Food Toxicology
ORCID ID: 0009-0007-6565-7889
Dr. Öğr. Üyesi Tuğba DEMİRİZ YÜCER
Karabuk University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0000-0002-2494-4511

ÖZET
Punicalagin, özellikle nar (*Punica granatum* L.) kabuğunda yüksek miktarlarda bulunan, hidrolize olabilen ellagitanen grubuna ait önemli bir polifenolik bileşiktir. Yüksek moleküler ağırlığı nedeniyle emilimi sınırlı olan punicalagin, bağırsaklarda hidrolize olarak ellajik aside ve ardından mikrobiyota aracılığıyla kolay emilebilen ürolitinlere dönüşmektedir. Bireysel mikrobiyota farklılıkları, bu biyolojik etkilerin kişiden kişiye değişebileceğini göstermektedir.
Bu çalışmada, punicalaginin kimyasal özelliklerinin, metabolik dönüşüm süreçlerinin ve biyolojik aktivitelerinin güncel literatür doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bileşiğin doğal kaynakları, yapısal özellikleri, gastrointestinal dönüşümleri ve biyoyararlanımı ele alınmıştır. Ayrıca serbest radikalleri nötralize etme, metal iyonlarını bağlama ve hücresel antioksidan savunmayı düzenleme potansiyeli incelenmiştir.
In vitro ve hayvan çalışmaları; punicalagin ve metabolitlerinin antioksidan, anti-inflamatuvar, antimikrobiyal, antikanserojen, kardiyoprotektif, antidiyabetik ve nöroprotektif etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Deneysel bulgular, hücresel savunma ve kardiyovasküler sağlığın korunmasında aktif rol oynayabileceğine işaret etmektedir. Ancak mevcut verilerin ağırlıklı olarak hücresel ve hayvansal modellere dayanması, insan sağlığı açısından sonuçlarının dikkatle değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu doğrultuda, punicalaginin biyoyararlanımı, metabolit etkileri ve uzun dönem güvenliğinin netleştirilmesi için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Punicalagin, ellagitanenler, antioksidan aktivite, metabolizma

PUNICALAGIN: CHEMICAL PROPERTIES, METABOLISM AND BIOLOGICAL ACTIVITIES

ABSTRACT
Punicalagin is an important polyphenolic compound belonging to the hydrolyzable ellagitannin group, found in high amounts particularly in the peel of pomegranate (*Punica granatum* L.). Due to its high molecular weight, the absorption of punicalagin is limited; it is hydrolyzed into ellagic acid in the intestines and subsequently converted by the gut microbiota into easily absorbable urolithins. Inter-individual variations in gut microbiota suggest that these biological effects may vary from person to person.
This study aims to evaluate the chemical properties, metabolic transformation processes, and biological activities of punicalagin in light of current literature. Within this scope, the natural sources, structural characteristics, gastrointestinal transformations, and bioavailability of the compound are addressed. Furthermore, its potential to neutralize free radicals, chelate metal ions, and modulate cellular antioxidant defenses has been examined.
In vitro and animal studies demonstrate that punicalagin and its metabolites possess antioxidant,

anti-inflammatory, antimicrobial, anticarcinogenic, cardioprotective, antidiabetic, and neuroprotective effects. Experimental findings indicate that it may play an active role in cellular defense and the maintenance of cardiovascular health. However, since current data are predominantly based on cellular and animal models, the implications for human health require careful evaluation. Accordingly, further clinical studies are needed to clarify the bioavailability, metabolite effects, and long-term safety of punicalagin.
Keywords: Punicalagin, ellagitannins, antioxidant activity, metabolism

1. GİRİŞ

Günümüzde beslenme bilimi, yalnızca temel besin ögelerinin karşılanmasına odaklanan geleneksel yaklaşımın ötesine geçerek, besinlerin sağlık üzerindeki koruyucu ve düzenleyici etkilerini de kapsamaktadır. Bu kapsamda besinlerin koruyucu özelliğinden bahseden ve bireylere yarar sağlayan besinleri tanımlayan bu terime "fonksiyonel besin" denilmektedir. Bu besinler sahip oldukları bu olumlu etkileri içeriklerinde bulunan biyolojik bileşenler sayesinde kazanmaktadır. Fenolik bileşikler, fitosteroller, probiyotikler, vitamin ve mineraller gibi fonksiyonel besinlerde sıklıkla bulunan biyoaktif bileşenler örnek olarak verilebilmektedir (Kara, 2024).

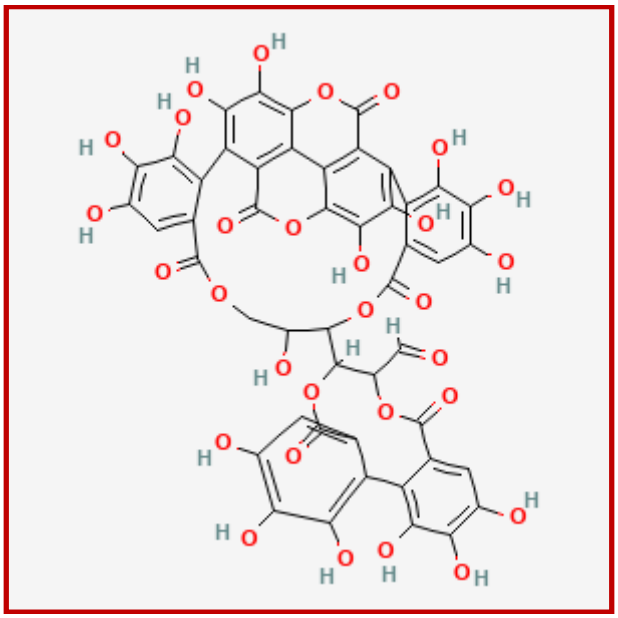
Bu bileşikler arasında yer alan polifenoller, güçlü antioksidan özellikleri ve hücresel düzeyde çeşitli biyolojik süreçleri etkileyebilme kapasiteleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Fonksiyonel gıdaların bu antioksidan özellikleri ile zararlı serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi azaltma ve iltihabı önleme gibi etkiler gösterdikleri bildirilmektedir (Singh ve ark., 2023). Polifenoller doğada sebze ve meyve gibi bitkisel kaynaklı ürünlerde bol miktarda bulunmaktadır (Pateiro ve ark., 2023). Bu kaynaklar arasında yer alan nar (*Punica granatum* L.), fenolik bileşikler bakımından oldukça zengin bir meyve olup, özellikle antioksidan kapasitesi ve potansiyel sağlık yararları nedeniyle bilimsel çalışmaların odağında yer almaktadır. Narın sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin büyük ölçüde içerdiği fenolik bileşiklerden kaynaklandığı bilinmektedir. İçeriğindeki ellagitanenler, antosiyaninler ve flavonoidler bu bileşikler arasında öne çıkmaktadır. Ellagitanenlerin yüksek antioksidan ve anti-inflamatuvar özellikleri, bu bileşiklerin bitkisel kaynaklı biyoaktif maddeler içerisinde dikkat çekmesini sağlamaktadır. Nar içerisinde yüksek oranda bulunan ve yapısal özellikleri bakımından öne çıkan en önemli ellagitanenlerden biri ise punicalagindir. Punicalagin, özellikle nar kabuğu ve meyvesinde yoğun olarak bulunan, narın gösterdiği biyolojik aktivitelerde önemli rol oynayan temel bir bileşendir (Gil ve ark., 2000; Seeram ve ark., 2005).

Bu özellikleri sayesinde son yıllarda kimyasal yapısı, metabolik dönüşümü ve sağlık üzerindeki potansiyel etkileri açısından yoğun bir biçimde araştırılmaktadır. Punicalaginin antioksidan, anti-inflamatuvar ve kardiyoprotektif etkilerine ilişkin elde edilen bulgular, bu bileşiğin fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu bildiride, punicalaginin kimyasal özellikleri, metabolizması ve biyolojik aktivitelerine ilişkin güncel bilgiler bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı; narın öne çıkan ellagitanen bileşeni olan punicalaginin kimyasal özelliklerini, metabolik dönüşümünü ve antioksidan, anti-inflamatuvar ile kardiyoprotektif etkileri başta olmak üzere biyolojik aktivitelerini güncel literatür ışığında bütüncül bir bakış açısıyla incelemektir.

2. PUNİCALAGİNİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ve DOĞAL KAYNAKLARI

Punicalagin, narın fenolik bileşikleri arasında öne çıkan ellagitanenler grubunda yer alan kompleks yapılı bir fenolik bileşiktir. Yapısal açıdan yüksek moleküler ağırlığı ve çok sayıda fenolik hidroksil grubu içermesi, punicalaginin kimyasal özelliklerinin ve biyolojik potansiyelinin temelini oluşturmaktadır (Pirzadeh ve ark., 2021). Nar suyunda ölçülen

antioksidan aktivitenin %87'sinin punicalaginler ve hidrolize edilebilir tanenlerden meydana geldiği bildirilmiştir. Bu önemli bileşiğin merkezinde glikoz bulunmakta olup, bu şeker halkası ellagik asit, gallik asit dimerleri ve gallik asit ile esterlenmiş α- ve β- izomerlerinden oluşmaktadır (Oudane ve ark., 2018).



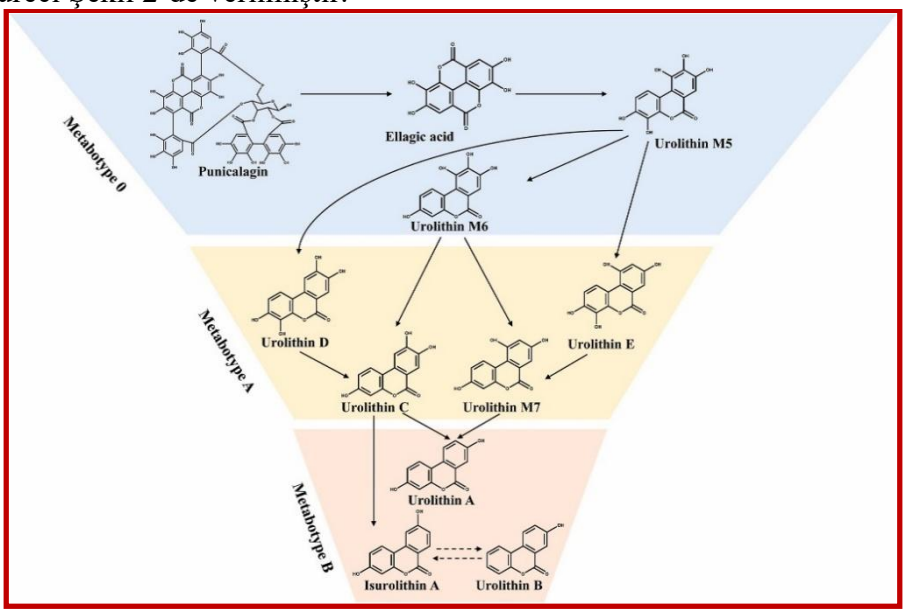
Şekil 1. Punicalagin kimyasal formülü (PubChem, 2026)

Punicalagin, IUPAC adlandırmasına göre 2,3-(S)-hexahydroxydiphenoyl-4,6-(S,S)-gallagyl-D-glucose olarak bilinmekte ve 1084,7 g/mol moleküler ağırlığa sahip $C_{48}H_{28}O_{30}$ kimyasal formülü ile ifade edilmektedir (PubChem, 2026). Punicalaginin kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Doğada en yoğun olarak nar (*Punica granatum*) kabuğu, meyvesi ve suyunda bulunmakla birlikte; Hint bademi (*Terminalia catappa*), *Terminalia ferdinandiana, Terminalia chebula, Terminalia arjuna, Terminalia myriocarpa* ve *Combretum molle* gibi diğer bitkisel türlerin kök, gövde ve yapraklarında da yer almaktadır (Fauziah, 2022). Nar örnekleri üzerinde gerçekleştirilen ekstraksiyon ve saflaştırma çalışmalarında, yüksek antioksidan aktivite gösteren fraksiyonların başlıca fenolik bileşiklerinden birinin punicalagin olduğu belirtilmiştir. Özellikle polar çözücülerle elde edilen ekstraktların yüksek verim ve antioksidan aktivite göstermesi, punicalaginin narın antioksidan kapasitesine önemli katkı sağlayan temel bileşiklerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, nar kabuğunun punicalagin açısından zengin bir kaynak olduğunu ve fonksiyonel bileşen elde edilmesinde değerlendirilebileceğini göstermektedir (Kulkarni ve ark., 2004).

3. PUNİCALAGİNİN METABOLİZMASI ve BİYOYARARLANIMI

Punicalaginin sağlık üzerindeki potansiyel etkileri, gıdalarla vücuda alınmasının ardından gastrointestinal kanalda izlediği metabolik süreçlere bağlıdır. Punicalaginin vücuda alınmasından itibaren gerçekleşen süreçlerin temelinde sahip olduğu kimyasal yapı yer almaktadır. Bu durum, ortaya çıkan biyolojik etkilerin anlaşılmasında temel bir çerçeve oluştursa da sağlık üzerindeki etkilerin değerlendirilmesinde tek başına yeterli olmamaktadır (Venusova ve ark., 2021). Oral yolla alınan punicalagin; sindirim, emilim ve bağırsak

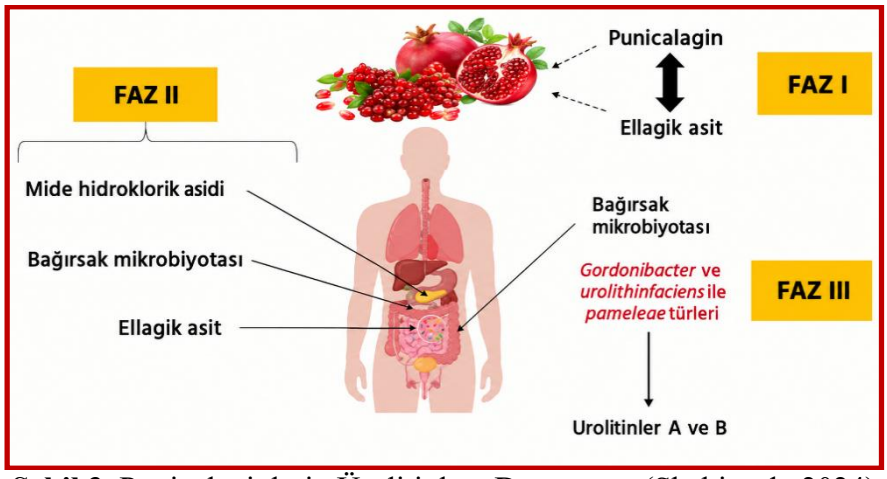
mikrobiyotasıyla etkileşime girerek hücresel düzeydeki biyolojik aktivitelerin şekillenmesini sağlamaktadır. Bilindiği üzere yüksek moleküler ağırlığı ve kompleks yapısı nedeniyle punicalaginin doğrudan biyoyararlanımı oldukça sınırlıdır. Gastrointestinal sistemde punicalaginler, spontan veya hidrolitik süreçlerle ince bağırsakta ellajik aside hidroliz olmaktadır. Açığa çıkan ellajik asit ise kalın bağırsak mikrobiyotasında yer alan bakteriler tarafından dibenzopiran-6-on türevleri olan ürolitinlere dönüştürülmektedir. Bu metabolik dönüşüm sürecinde görev alan mikrobiyotanın bireysel farklılıklar göstermesi, punicalaginin biyoyararlanımının ve metabolik profilinin kişiden kişiye değişebileceğini ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalarda özellikle *Gordonibacter* ve *Ellagibacter* cinslerine ait bakterilerin bu biyodönüşümde kritik rol oynadığı gösterilmiştir. Bu dönüşüm sonucunda başlıca metabolitler olarak Ürolitin A, Ürolitin B ve Ürolitin C oluşmakta ve organizmadaki sistemik biyolojik etkilerin ortaya çıkmasında aracı rol oynamaktadır (Espin ve ark., 2013). Punicalaginin metabolik süreci Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Punicalagin mikrobiyota üzerindeki emilim metabolizması ve ürolitin metabolitlerine dönüşüm yolunu içeren katabolik sürecin şeması (Wang ve ark., 2024)

Punicalaginin biyoyararlanımının değerlendirilmesinde dikkat çeken en önemli hususlardan biri, ana bileşiğin plazma dolaşımındaki düzeylerinin oldukça düşük olmasına karşın, ürolitin metabolitlerinin belirgin şekilde daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesidir. Sistemik dolaşımda ellajik asit için biyoyararlanım düzeyi 0,1-0,4 $\mu mol/L$ aralığında seyrederken, ürolitinlerin derişimi 0,5-18,6 $\mu mol/L$ seviyelerine kadar ulaşabilmektedir (Kang ve ark., 2016).

Ürolitinler daha apolar (lipofilik) yapısal özellik göstermeleri sayesinde bağırsak epitellerinden daha etkin bir şekilde emilmekte ve sistemik dolaşıma katılabilmektedir. Bu nedenle, günümüzde punicalaginin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin yalnızca ana bileşiğin kendisinden değil, bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen biyoaktif metabolitlerden de kaynaklandığı görüşü yaygın olarak kabul görmektedir (Gonzalez-Sarrias ve ark., 2015).
Punicalaginin oral yolla alınımından itibaren gastrointestinal kanaldaki hidroliz aşamaları (Faz I ve II) ile bağırsak mikrobiyotası (*Gordonibacter* türleri) aracılığıyla Ürolitin A ve B'ye katabolik dönüşüm süreci (Faz III) Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. Punicalaginlerin Ürolitinlere Dönüşümü (Shabir vd., 2024)

Bu metabolik dönüşümler ve biyoyararlanım özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, punicalaginin fizyolojik etkilerinin anlaşılmasında bağırsak mikrobiyotasının merkezi bir role sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle punicalaginin biyolojik potansiyelinin değerlendirilmesinde yalnızca ana bileşik değil, metabolik dönüşüm ürünleri ve bu süreci şekillendiren mikrobiyal faktörler de dikkate alınmalıdır.

4. PUNİCALAGİNİN BİYOLOJİK AKTİVİTELERİ ve ETKİ MEKANİZMALARI

Punicalaginin metabolik dönüşümü sonucunda oluşan bileşikler ve bunların sistemik dolaşıma katılımı, bu polifenolün organizma üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında önemli bir temel oluşturmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalar, punicalaginin yalnızca güçlü bir antioksidan bileşik olmadığını, aynı zamanda çeşitli hücresel sinyal mekanizmalarını etkileyerek farklı biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde rol oynayabildiğini göstermektedir. Özellikle oksidatif stres ve inflamasyonla ilişkili yolaklar üzerindeki düzenleyici etkileri, bu bileşiğin sağlık üzerindeki potansiyel yararlarının araştırılmasına yönelik ilgiyi arttırmıştır (Chen ve ark., 2023; Venusova ve ark., 2021). Punicalagin ve metabolitlerinin hücresel düzeyde oluşturduğu yanıtların; kardiyovasküler sağlık, metabolik hastalıklar, kanser gelişimi ve bağırsak mikrobiyotası gibi birçok fizyolojik sistem üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle punicalaginin biyolojik aktivitelerinin ve bu aktivitelerin altında yatan moleküler mekanizmaların değerlendirilmesi, bileşiğin potansiyel terapötik ve koruyucu özelliklerinin ortaya konulması açısından önem taşımaktadır (Benchagra ve ark., 2021; Tang ve ark., 2017; Venusova ve ark., 2021).

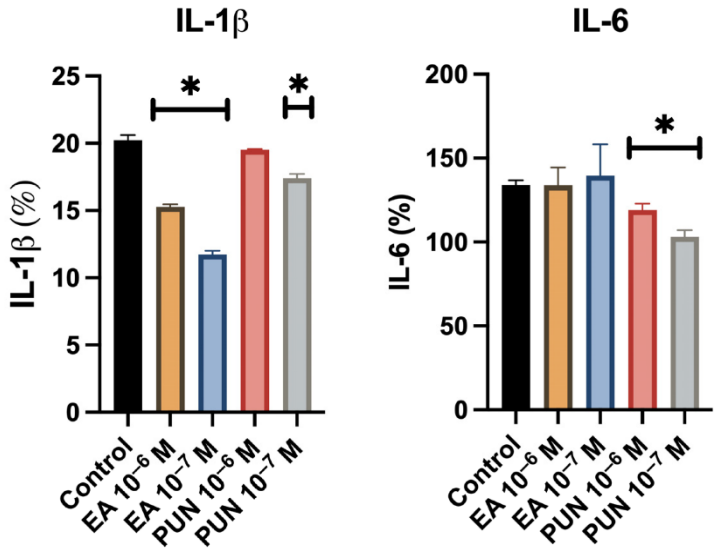
4.1. Punicalaginin Antikanser Etkisi

Punicalaginin farklı fizyolojik sistemler üzerindeki etkileri, büyük ölçüde hücresel düzeyde gerçekleşen moleküler etkileşimler aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Bu bileşik ve metabolitleri, oksidatif stres ve inflamasyonla ilişkili çeşitli sinyal yollarını modüle ederek hücresel yanıtların düzenlenmesine katkıda bulunmaktadır. Punicalaginin kanser hücreleri üzerindeki etkisi incelendiğinde, kanser hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak apoptozu (programlanmış hücre ölümünü) tetiklediği görülmektedir. Aynı zamanda doza bağlı olarak belirli konsantrasyonlarda, kanser hücrelerinde nükleer faktör kappa B (NF-κB) protein ekspresyonunu baskıladığı ve anti-apoptotik bir protein olan Bcl-2'nin mRNA ekspresyon

seviyelerini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Bu sonuçlar, kanserli hücrelerin apoptoza girmesini teşvik eden punicalaginin, tedavi sürecinde ve hastalığın seyrinin iyileştirilmesinde potansiyel bir destekleyici ajan olarak rol oynayabileceğini göstermektedir (Zhang ve ark., 2020).

4.2. Punicalaginin Antiinflamatuvar Etkisi

Punicalaginin anti-inflamatuvar etkilerinin temelinde, inflamasyonla ilişkili sinyal yollarının düzenlenmesi yer almaktadır. Yapılan çalışmalar, punicalaginin prostaglandin E_2 (PGE_2) üretimini inhibe ederek inflamatuvar yanıtın şiddetini azaltabildiğini ortaya koymuştur. Bu etkinin siklooksijenaz-2 (COX-2) ekspresyonunun baskılanması ve TLR4 aracılı MAPK ile NF-κB sinyal yollarının modülasyonu yoluyla gerçekleşebileceği bildirilmektedir. Sonuç olarak punicalagin, proinflamatuvar sitokinlerin ve diğer inflamatuvar mediyatörlerin üretimini sınırlayarak anti-inflamatuvar etki göstermektedir (BenSaad ve ark., 2017). Yapılan bir diğer *in vitro* çalışmada ise, punicalagin uygulanan fibroblast kültürlerinde IL-1β ve IL-6 düzeylerinde anlamlı azalmalar gözlemlenmiştir. Bu bulgular, punicalaginin inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde rol oynayan temel sitokinlerin salınımını azaltarak hücresel düzeyde koruyucu etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle IL-6 üretimindeki azalmanın doğrudan punicalagin uygulamasıyla ilişkili bulunması, bu bileşiğin inflamatuvar süreçlerin kontrolünde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Söz konusu parametrelerdeki azalma değerleri Şekil 4'te sunulmuştur (Ramos-Torrecillas ve ark., 2025).



Şekil 4. Yapılan çalışma sonucunda IL-6 ve IL-1β düzeylerinin kontrol grubu, ellagik asit ve punicalagin oranlarındaki değişimleri

Punicalaginin anti-inflamatuvar özelliği ile ilgili yapılan çalışmalarda, Alzheimer hastalığı modeli oluşturmak amacıyla uygulanan lipopolisakkarit (LPS) indüksiyonu ile punicalagin tedavisinin Amyloid-beta ($A\beta_{1-42}$) birikimi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. LPS uygulanan farelerde $A\beta_{1-42}$ düzeylerinde belirgin bir artış gözlemlenirken, punicalagin

uygulanan grupta $A\beta_{1-42}$ birikiminin ve pozitif hücre sayısının azaldığı bildirilmiştir. Punicalaginin bu etkiyi, amiloid prekürsör proteini (APP) ve β-sekretaz (BACE1) proteinlerinin ekspresyonunu baskılayarak meydana getirdiği sonucuna varılmıştır. Bu durum, punicalaginin nörodejeneratif süreçlerin ilerlemesinde rol oynayan amiloidojenik yolları modüle ederek nöronal dokunun korunmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Kim ve ark., 2017).

4.3. Punicalaginin Antioksidan Etkisi

Oksidatif stres, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu ile organizmanın antioksidan savunma mekanizmaları arasındaki dengenin bozulması sonucunda ortaya çıkmakta ve birçok kronik hastalığın patofizyolojisinde rol oynamaktadır. Punicalaginin sahip olduğu güçlü antioksidan özellikler, hücre düzeyinde oluşan oksidatif stresin azaltılmasına katkı sağlamakta olup, bu durum bileşiğin sağlık üzerindeki potansiyel etkilerinin temel mekanizmalarından biri olarak kabul edilmektedir. Literatürdeki çalışmalar, punicalaginin hücre içindeki ROS birikimini önemli ölçüde azalttığını ve mitokondriyal membran potansiyelini (MMP) koruyarak/geri kazandırdığını göstermiştir. Bu bulgu, punicalaginin güçlü antioksidatif kapasitesini ortaya koyan temel bir göstergedir (Yang ve ark., 2026). Yapılan araştırmalar; punicalaginin Nrf2 ekspresyonunu artırırken Keap1 düzeylerini düşürdüğünü ve buna bağlı olarak heme oksijenaz-1 (HO-1) gibi endojen antioksidan enzimlerin ekspresyonunu uyardığını göstermektedir. Bu durum, punicalaginin endojen hücresel savunma sistemlerini aktive ederek hücreleri oksidatif strese karşı koruduğunu ortaya koymaktadır (Xu ve ark., 2015).

Punicalaginin antioksidan aktivitesi, yalnızca serbest radikallerin doğrudan süpürülmesiyle (süperoksit/serbest radikal tutma) sınırlı değildir. Yapılan çalışmalar, bu bileşiğin hidroksil, azot dioksit ve diğer reaktif türleri etkisiz hale getirerek lipid, protein ve DNA gibi hücresel makromoleküllerin oksidatif hasardan korunmasına katkı sağladığını göstermektedir. Ayrıca demir ve bakır gibi geçiş metallerini şelatlama (kompleks oluşturma) yeteneği, punicalaginin Fenton reaksiyonları üzerinden gelişen yeni serbest radikal oluşumunu sınırlandıran ek bir antioksidan mekanizmaya sahip olduğunu göstermektedir. Bu özellikler birlikte değerlendirildiğinde, punicalaginin oksidatif stresle ilişkili hücresel hasarın azaltılmasında çok yönlü bir koruyucu etki sergilediği anlaşılmaktadır (Kulkarni ve ark., 2007). Nar polifenollerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, punicalaginin tek başına belirgin bir antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmekle birlikte, nar suyunun toplam antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, nar suyunda bulunan farklı fenolik bileşiklerin sinerjik bir etki oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte punicalagin, lipid peroksidasyonunun baskılanması ve serbest radikallerin nötralize edilmesi mekanizmaları aracılığıyla narın toplam antioksidan potansiyeline katkı sağlayan en önemli ellagitanen türevi olarak öne çıkmaktadır (Seeram ve ark., 2005).

4.4. Punicalaginin Kardiyovasküler Etkisi

Kardiyovasküler hastalıklar, dünya genelinde morbidite ve mortalitenin başlıca nedenleri arasında yer almakta olup, gelişmelerinde oksidatif stres, kronik inflamasyon ve endotel fonksiyon bozukluğu gibi birçok patofizyolojik mekanizmalar rol oynamaktadır. Deneysel çalışmalar gösteriyor ki, punicalaginin kardiyovasküler sistem üzerindeki koruyucu etkilerinin oksidatif stres, inflamasyon ve apoptozun düzenlenmesiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Özellikle TNF ve HIF-1α ile ilişkili sinyal yolaklarının modülasyonu sayesinde iskemik hasarın azaltılabildiği, ayrıca CASPASE-3 aracılı apoptotik süreçlerin baskılanması

yoluyla kardiyomiyosit kaybının sınırlandırılabileceği bildirilmektedir. Bu bulgular, punicalaginin miyokard enfaktüsü ve diğer iskemik kardiyovasküler hastalıklarda potansiyel kardiyoprotektif özellikler gösterebileceğini düşündürmektedir (Yang ve ark., 2025).

Punicalaginin, hipoksiye bağlı pulmoner hipertansiyon modeli üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda pulmoner arter basıncını düşürdüğü, sağ ventrikül hipertrofisini azalttığı ve vasküler yeniden yapılanmayı baskıladığı bildirilmiştir. Ayrıca bileşiğin nitrik oksit-cGMP sinyal yolunu destekleyerek endotel fonksiyonlarını iyileştirdiği ve süperoksit üretimini azaltarak oksidatif stresi hafiflettiği gösterilmiştir. Bu bulgular punicalaginin kardiyovasküler sistem üzerindeki koruyucu etkilerinin büyük ölçüde antioksidan mekanizmalar ve endotel fonksiyonlarının korunması ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Shao ve ark., 2016).

İnsanlarda gerçekleştirilen randomize kontrollü bir çalışmada, punicalagin içeren polifenol kombinasyonunun endotel fonksiyonlarını iyileştirdiği, okside LDL düzeylerini azalttığı ve kan basıncını düşürdüğü bildirilmiştir. Özellikle endotel disfonsiyonu ve hipertansiyon riski taşıyan bireylerde gözlenen bu etkiler, punicalaginin kardiyovasküler sistem üzerindeki koruyucu potansiyelini desteklenmektedir. Oksidatif stresin azaltılması ve damar fonksiyonlarının iyileştirilmesi yoluyla ortaya çıkan bu etkiler, punicalaginin aterosklerotik süreçlerin önlenmesine katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir (Quiros-Fernandez ve ark., 2019).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Punicalagin, başta nar olmak üzere bazı bitkisel kaynaklarda bulunan ve ellagitanen grubunda yer alan önemli bir polifenolik bileşiktir. Yüksek molekül ağırlığına ve çok sayıda fenolik hidroksil grubuna sahip olan bu bileşik, güçlü biyolojik aktivitelere temel oluşturan özgün bir kimyasal yapıya sahiptir. Yapılan çalışmalar, punicalaginin yalnızca doğrudan serbest radikal temizleme kapasitesiyle değil, aynı zamanda hücresel antioksidan savunma sistemlerini düzenleme yeteneğiyle de oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra inflamasyonla ilişkili sinyal yolaklarının baskılanması, proinflamatuvar sitokinlerin üretiminin azaltılması ve çeşitli hücresel süreçlerin modüle edilmesi, punicalaginin sağlık üzerindeki potansiyel etkilerinin temel mekanizmaları arasında yer almaktadır.

Punicalaginin biyolojik etkilerinin değerlendirilmesinde metabolik dönüşüm süreçleri özel bir önem taşımaktadır. Sindirim sistemi boyunca gerçekleşen hidroliz reaksiyonları sonucunda oluşan ellajik asit ve bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen ürolitinler, bileşiğin biyoyararlanımını ve sistemik etkilerini belirleyen başlıca faktörlerdir. Bu durum, punicalaginin fizyolojik etkilerinin yalnızca ana bileşik üzerinden değil, aynı zamanda metabolitleri aracılığıyla da ortaya çıktığını göstermektedir. Özellikle bağırsak mikrobiyotasındaki bireysel farklılıkların metabolit oluşumunu etkileyebilmesi, gelecekte kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımları açısından dikkate alınması gereken önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir.

Mevcut literatür bulguları, punicalaginin antioksidan ve antiinflamatuvar etkilerinin yanı sıra kardiyovasküler sağlık, metabolik hastalıklar ve nörodejeneratif süreçler üzerinde de koruyucu potansiyele sahip olabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu bulguların önemli bir kısmı hücre kültürü ve deney hayvanı çalışmalarına dayanmaktadır. Bu nedenle punicalaginin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin daha net ortaya konulabilmesi için farklı yaş ve popülasyon gruplarında yürütülecek kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda punicalaginin biyoyararlanımını artırmaya yönelik yeni formülasyonların geliştirilmesi, bağırsak mikrobiyotası ile etkileşimlerinin daha ayrıntılı olarak incelenmesi ve uzun dönem güvenlilik verilerinin ortaya konulması önem taşımaktadır. Ayrıca punicalagin ve metabolitlerinin moleküler etki mekanizmalarının daha kapsamlı şekilde aydınlatılması, bu bileşiğin fonksiyonel gıda, nutrasötik ve koruyucu sağlık uygulamalarındaki

potansiyel kullanım alanlarının belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda punicalagin, gelecekte beslenme ve sağlık bilimleri alanında üzerinde daha fazla araştırma yapılması gereken umut verici biyoaktif bileşiklerden biri olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Benchagra, L., Berrougui, H., Islam, M. O., Ramchoun, M., Boulbaroud, S., Hajjaji, A., ... & Khalil, A. (2021). Antioxidant effect of moroccan pomegranate (*Punica granatum* L. *sefri* variety) extracts rich in punicalagin against the oxidative stress process. *Foods*, 10(9), 2219.

BenSaad, L. A., Kim, K. H., Quah, C. C., Kim, W. R., & Shahimi, M. (2017). Anti-inflammatory potential of ellagic acid, gallic acid and punicalagin A&B isolated from Punica granatum. *BMC complementary and alternative medicine*, *17*(1), 47. https://doi.org/10.1186/s12906-017-1555-0

Chen, P., Guo, Z., & Zhou, B. (2023). Neuroprotective potential of punicalagin, a natural component of pomegranate polyphenols: A review. *Journal of integrative neuroscience*, 22(5), 113.

Espín, J. C., Larrosa, M., García-Conesa, M. T., & Tomás-Barberán, F. (2013). Biological significance of urolithins, the gut microbial ellagic acid-derived metabolites: the evidence so far. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2013*(1), 270418. https://doi.org/10.1155/2013/270418

Fauziah, F. (2022). Pharmacological activities of Punicalagin: a review. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v12i2.5377

Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, *48*(10), 4581-4589. https://doi.org/10.1021/jf000404a

González-Sarrías, A., García-Villalba, R., Núñez-Sánchez, M. Á., Tomé-Carneiro, J., Zafrilla, P., Mulero, J., ... & Espín, J. C. (2015). Identifying the limits for ellagic acid bioavailability: A crossover pharmacokinetic study in healthy volunteers after consumption of pomegranate extracts. *Journal of Functional Foods*, *19*, 225-235. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.019

Kang, I., Buckner, T., Shay, N. F., Gu, L., & Chung, S. (2016). Improvements in metabolic health with consumption of ellagic acid and subsequent conversion into urolithins: evidence and mechanisms. *Advances in nutrition*, *7*(5), 961-972.

Kara, O. O. (2024). Fonksiyonel gıda üretiminde yeni yaklaşımlar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *29*(3), 1064-1081. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1528392

Kim, Y. E., Hwang, C. J., Lee, H. P., Kim, C. S., Son, D. J., Ham, Y. W., ... & Hong, J. T. (2017). Inhibitory effect of punicalagin on lipopolysaccharide-induced neuroinflammation, oxidative stress and memory impairment via inhibition of nuclear factor-kappaB. *Neuropharmacology*, *117*, 21-32. 10.1016/j.neuropharm.2017.01.025 10.1016/j.neuropharm.2017.01.025

Kulkarni, A. P., Aradhya, S. M., & Divakar, S. (2004). Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant–punicalagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit. *Food chemistry*, *87*(4), 551-557. 10.1016/j.foodchem.2004.01.006

Kulkarni, A. P., Mahal, H. S., Kapoor, S., & Aradhya, S. M. (2007). In vitro studies on the binding, antioxidant, and cytotoxic actions of punicalagin. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(4), 1491-1500. https://doi.org/10.1021/jf0626720

Oudane, B., Boudemagh, D., Bounekhel, M., Sobhi, W., Vidal, M., & Broussy, S. (2018). Isolation, characterization, antioxidant activity, and protein-precipitating capacity of the hydrolyzable tannin punicalagin from pomegranate yellow peel (Punica granatum). *Journal of Molecular Structure*, *1156*, 390-396. 10.1016/j.molstruc.2017.11.129

Pateiro, M., Domínguez, R., Munekata, P. E., Nieto, G., Bangar, S. P., Dhama, K., & Lorenzo, J. M. (2023). Bioactive compounds from leaf vegetables as preservatives. *Foods*, *12*(3), 637. https://doi.org/10.3390/foods12030637

Pirzadeh, M., Caporaso, N., Rauf, A., Shariati, M. A., Yessimbekov, Z., Khan, M. U., ... & Mubarak, M. S. (2021). Pomegranate as a source of bioactive constituents: A review on their characterization, properties and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, *61*(6), 982-999. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749825

PubChem. (2026). *Punicalagin (CID 442844)*. PubChem Open Chemistry Database, National Center for Biotechnology Information (NCBI). Erişim adresi: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442844 (Erişim Tarihi: 19.08.2026).

Quirós-Fernández, R., López-Plaza, B., Bermejo, L. M., Palma-Milla, S., & Gómez-Candela, C. (2019). Supplementation with hydroxytyrosol and punicalagin improves early atherosclerosis markers involved in the asymptomatic phase of atherosclerosis in the adult population: A randomized, placebo-controlled, crossover trial. *Nutrients*, *11*(3), 640. https://doi.org/10.3390/nu11030640

Ramos-Torrecillas, J., González-Acedo, A., Melguizo-Rodríguez, L., Ruiz, C., De Luna-Bertos, E., Illescas-Montes, R., & García-Martínez, O. (2025). Anti-inflammatory and antimicrobial effect of ellagic acid and punicalagin in dermal fibroblasts. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(17), 8681. https://doi.org/10.3390/ijms26178681

Seeram, N. P., Adams, L. S., Henning, S. M., Niu, Y., Zhang, Y., Nair, M. G., & Heber, D. (2005). In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *The Journal of nutritional biochemistry*, *16*(6), 360-367. 10.1016/j.jnutbio.2005.01.006

Shao, J., Wang, P., Liu, A., Du, X., Bai, J., & Chen, M. (2016). Punicalagin prevents hypoxic pulmonary hypertension via anti-oxidant effects in rats. *The American journal of Chinese medicine*, *44*(04), 785-801. https://doi.org/10.1142/S0192415X16500439

Shabir, I., Dar, A. H., Dash, K. K., Manzoor, S., Srivastava, S., Pandey, V. K., ... & Kovács, B. (2024). Bioactive potential of punicalagin: a comprehensive review. *Applied Food Research*, *4*(2), 100572.

Singh, A. K., Pal, P., Pandey, B., Goksen, G., Sahoo, U. K., Lorenzo, J. M., & Sarangi, P. K. (2023). Development of "Smart Foods" for health by nanoencapsulation: Novel technologies and challenges. *Food Chemistry: X*, *20*, 100910. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100910

Tang, J., Li, B., Hong, S., Liu, C., Min, J., Hu, M., ... & Hong, L. (2017). Punicalagin suppresses the proliferation and invasion of cervical cancer cells through inhibition of the β-catenin pathway. *Molecular Medicine Reports*, 16(2), 1439-1444.

Venusova, E., Kolesarova, A., Horky, P., & Slama, P. (2021). Physiological and immune functions of punicalagin. *Nutrients*, *13*(7), 2150. https://doi.org/10.3390/nu13072150

Wang, W., Long, P., He, M., Luo, T., Li, Y., Yang, L., ... & Wen, X. (2024). Pomegranate polyphenol punicalagin as a nutraceutical for mitigating mild cognitive impairment: An overview of beneficial properties. *European Journal of Pharmacology*, *977*, 176750. 10.1016/j.ejphar.2024.176750

Yang, J., Zhang, L., Ye, J., Yan, R., Qiu, X., Zhang, L., ... & Peng, J. (2025). Integrated network pharmacology reveals the mechanisms of punicalagin in cardiovascular and cerebrovascular diseases treatment. *Brain Hemorrhages*. https://doi.org/10.1016/j.hest.2025.06.001

Yang, X., Xiong, C., Zhang, J., Chen, Q., Tang, Y., Fu, Z., ... & Luo, Q. (2026). Mechanistic Insights into the Hepatoprotective Effects of Punicalagin Against Oxidative Stress: Involvement of the PI3K/AKT/mTOR Pathway and Autophagy. *Journal of Food Biochemistry*, *2026*(1), 1703966. https://doi.org/10.1155/jfbc/1703966

Xu, X., Li, H., Hou, X., Li, D., He, S., Wan, C., ... & Xu, J. (2015). Punicalagin induces Nrf2/HO-1 expression via upregulation of PI3K/AKT pathway and inhibits LPS-induced oxidative stress in RAW264. 7 macrophages. *Mediators of inflammation*, *2015*(1), 380218. https://doi.org/10.1155/2015/380218

Zhang, L., Chinnathambi, A., Alharbi, S. A., Veeraraghavan, V. P., Mohan, S. K., & Zhang, G. (2020). Punicalagin promotes the apoptosis in human cervical cancer (ME-180) cells through mitochondrial pathway and by inhibiting the NF-kB signaling pathway. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(4), 1100-1106. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.015

KAHVE BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE KARSİNOGENEZ ÜZERİNDEKİ KORUYUCU ROLÜ

Diyetisyen Erva Nur KALENDER YAVAŞCI
Karabuk University, Institute of Graduate Programs, Food Toxicology
ORCID ID: 0009-0009-2192-1531
Dr. Öğr. Üyesi Tuğba DEMİRİZ YÜCER
Karabuk University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0000-0002-2494-4511

ÖZET
Kahve; metilksantinler (kafein), fenolik bileşikler (klorojenik asitler) ve diterpenler (kafestol, kahweol) gibi zengin biyoaktif bileşen ağına sahip, dünya genelinde yaygın tüketilen fonksiyonel bir içecektir. Bu bileşenlerin antioksidan, antiinflamatuvar ve apoptozu indükleyici özellikleri, kahve tüketiminin karsinogenez süreçleri üzerindeki olası koruyucu rolünün incelenmesini gerekli kılmıştır. Bu çalışmada, kahvenin kimyasal bileşimi, biyoaktif maddeleri, karaciğerdeki CYP1A2 aracılı metabolik dönüşüm yolları ile organ spesifik karsinogenez üzerindeki koruyucu etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.
Literatürdeki *in vitro, in vivo* ve epidemiyolojik kanıtlar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, kahve biyoaktiflerinin karsinogenez üzerindeki koruyucu etkinliğinin doku ve organ bazında farklılık gösterdiği saptanmıştır. En güçlü ve tutarlı koruyucu etki karaciğer karsinogenezinde gözlenmekte; yüksek kahve tüketimi hepatoselüler karsinom riskinde belirgin bir azalma (%35–47) ile ilişkilendirilmektedir. Kolorektal kanserde genel risk üzerine nötr etkiler bildirilse de tanı almış hastalarda karsinogenezin tekrarlama (rekürrens) ve mortalite riskinin önlenmesinde anlamlı koruyucu bulgular mevcuttur. Mide kanserinde kafeinin kaspaz sinyal yollarını aktive ederek apoptozu indüklediği gösterilmekle birlikte epidemiyolojik düzeyde nötr bir ilişki hakimdir. Akciğer ve meme kanserlerinde ise koruyucu potansiyelin ortaya çıkmasında sigara kullanımı gibi karıştırıcı değişkenler, menopozal durum ve kahve demleme/hazırlama teknikleri belirleyici rol oynamaktadır.
Sonuç olarak; kahve biyoaktif bileşenleri moleküler ve epidemiyolojik düzeyde karsinogenez süreçlerini baskılayıcı güçlü bir koruyucu potansiyele sahiptir. Ancak mevcut bulguların büyük oranda gözlemsel çalışmalara dayanması nedeniyle, nedensellik bağının kurulabilmesi için standartlaştırılmış prospektif ve klinik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kahve, kafein, klorojenik asit, kanser, biyoaktif bileşenler

COFFEE BIOACTIVE COMPONENTS AND THEIR PROTECTIVE ROLE AGAINST CARCINOGENESIS

ABSTRACT
Coffee is a widely consumed functional beverage worldwide, characterized by a rich composition of bioactive compounds, including methylxanthines (caffeine), phenolic compounds (chlorogenic acids), and diterpenes (cafestol and kahweol). The antioxidant, anti-inflammatory, and apoptosis-inducing properties of these compounds have led to investigations into the potential protective role of coffee consumption in carcinogenesis. This study aimed to evaluate the chemical composition and bioactive constituents of coffee, its CYP1A2-mediated hepatic metabolic pathways, and its potential protective effects on organ-specific carcinogenesis.
A comprehensive evaluation of *in vitro, in vivo,* and epidemiological evidence indicates that

the potential protective effects of coffee bioactive compounds on carcinogenesis vary depending on the tissue and organ involved. The strongest and most consistent protective association has been observed in liver carcinogenesis, with higher coffee consumption associated with a significant reduction (35–47%) in the risk of hepatocellular carcinoma. Although a generally neutral association has been reported between coffee consumption and overall colorectal cancer risk, significant protective associations have been observed regarding the risks of recurrence and mortality among patients diagnosed with colorectal cancer. In gastric cancer, caffeine has been shown to induce apoptosis through the activation of caspase signaling pathways; however, epidemiological evidence predominantly indicates a neutral association. In lung and breast cancers, factors such as smoking as a confounding variable, menopausal status, and coffee brewing and preparation methods play important roles in determining the potential protective associations.
In conclusion, the bioactive compounds of coffee demonstrate considerable potential to inhibit carcinogenic processes at the molecular level, while epidemiological evidence suggests possible protective associations with certain types of cancer. However, since the available findings are largely based on observational studies, further well-designed prospective studies and clinical trials are needed to establish causal relationships.
Keywords: Coffee, caffeine, chlorogenic acids, carcinogenesis, bioactive compounds

1.GİRİŞ

Dünya genelinde yaygın olarak tüketilen ve ülkemizde de tüketimi giderek artan kahve, Rubiaceae familyasına ait ağaçlardan elde edilmektedir (Saltan & Kaya, 2018). Kahvenin 1000 yılı aşkın süredir tüketildiği ve anavatanının günümüzde Etiyopya olarak bilinen bölge olduğu bildirilmektedir (Ülger, 2015).

Kahvenin keşfine ilişkin en yaygın rivayetlerden biri, Khaldi adlı bir çobanın sürüsündeki keçi ve develerin bir ağacın meyvelerini tükettikten sonra daha hareketli ve canlı olduklarını fark etmesine dayanmaktadır. Bunun üzerine Khaldi'nin de aynı meyveleri tükettiği ve gözlemlediği etkileri dönemin âlimleriyle paylaştığı, daha sonraki dönemlerde ise bu bitkinin tohumlarının içecek olarak tüketilmeye başlandığı aktarılmaktadır (Karaman vd., 2019). Tarihsel kaynaklara göre Osmanlı Devleti'nin kahveyle Yavuz Sultan Selim döneminde tanıştığı ve Kanuni Sultan Süleyman döneminde kahve ticaretinin yaygınlaşmaya başladığı belirtilmektedir (Saltan & Kaya, 2018).

Kahve, kimyasal yapısı oldukça kompleks olan ve 1000'den fazla bileşik içeren bir içecektir. Bu bileşenler arasında klorojenik asit ve kafeik asit gibi fenolik bileşiklerin yanı sıra kafestol ve kahweol gibi diterpenler, trigonellin ve niasin bulunmaktadır. Kavrulmuş kahve çekirdeğinin kuru ağırlığı temel alındığında bileşimin önemli bir kısmını karbonhidratlar (%38–42) oluştururken, bunu melanoidler (%23), lipitler (%11–17) ve proteinler (%10) izlemektedir. Ayrıca mineraller (%4,5–4,7), klorojenik asit (%2,7–3,1), alifatik asitler (%2,4–2,5) ve kafein (%1,3–2,4) de kahvenin başlıca bileşenleri arasında yer almaktadır (Gönder & Şanlıer, 2014).

Sağlıklı yetişkinlerde günlük 400 mg'a kadar kafein tüketiminin sağlık açısından güvenli olduğu, tek seferde alınan kafein miktarının ise 200 mg'ı aşmaması gerektiği bildirilmektedir. Gebelik döneminde günlük kafein alımının 200 mg ile sınırlandırılması önerilmektedir. Bir fincan (200 mL) filtre kahvenin ise yaklaşık 90 mg kafein içerdiği belirtilmektedir (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies [NDA], 2015; Macit & Köksal, 2020).

Kahve tüketiminin sağlık üzerindeki etkileri konusunda literatürde farklı sonuçlar bildirilmektedir. Yapılan araştırmalarda kahve tüketimi; tip 2 diyabet, kanser ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli kronik hastalıklarla ilişkilendirilmiş ve bu hastalıklarla

olan olası ilişkisi araştırılmıştır (Macit & Köksal, 2020).
Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) güncel verilerine göre, 2024 yılında kanser nedeniyle yaklaşık 10 milyon ölüm gerçekleşmiş ve kanser küresel ölçekte önde gelen ölüm nedenlerinden biri olmuştur (WHO, 2026). Kanserin küresel hastalık yükündeki önemli yeri, beslenme ve yaşam tarzı faktörlerinin kanser gelişimi üzerindeki olası etkilerine yönelik araştırmaların önemini artırmaktadır. Bu kapsamda dünya genelinde yaygın olarak tüketilen kahvenin ve içerdiği biyoaktif bileşenlerin kanser gelişimi ile ilişkisi dikkat çeken araştırma konularından biri hâline gelmiştir. Bu çalışmada, kahvenin biyoaktif bileşenleri ile antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri, karsinogenez sürecindeki olası etkileri ve farklı kanser türleriyle ilişkisi ele alınmaktadır.

2. KAHVENİN GENEL ÖZELLİKLERİ ve BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ

2.1. Kahvenin Tarihçesi

Kahvenin kökeninin Afrika'ya, özellikle Etiyopya bölgesine dayandığı ve buradan Yemen'e taşınarak yetiştirilmeye başlandığı bildirilmektedir. Kahve, 15. yüzyılda Yemen'den Mekke ve Medine'ye, daha sonraki dönemlerde ise Kahire, Şam, Halep ve İstanbul'a yayılarak geniş bir coğrafyada tüketilmeye başlanmıştır (Yılmaz vd., 2017). Osmanlı toplumunun kahveyle 16. yüzyılın başlarında tanıştığı ve yüzyılın ortalarında İstanbul'da kahvehanelerin açılmasıyla kahve kültürünün yaygınlaştığı belirtilmektedir (Temel, 2021). Zamanla kahve, yalnızca tüketilen bir içecek olmaktan çıkarak Osmanlı sosyal ve kültürel yaşamının önemli unsurlarından biri hâline gelmiştir (Yaşar, 2005).

2.2 Kahvenin Tanımı ve Önemi

Kahve, Rubiaceae familyasının *Coffea* cinsine ait bitkilerin meyvelerinden elde edilen çekirdeklerin işlenmesiyle hazırlanan bir içecektir. Günümüze kadar *Coffea* cinsine ait 120'den fazla kahve türü tanımlanmıştır. Bu türler arasında *Coffea arabica* (Arabica), *Coffea canephora* (Robusta) ve *Coffea liberica* (Liberica) ticari açıdan önem taşımakta; dünya kahve üretiminde ise ağırlıklı olarak Arabica ve Robusta türleri kullanılmaktadır (Makiso vd., 2024).
Türk Gıda Kodeksi Kahve ve Kahve Ekstraktları Tebliği'nde (Tebliğ No: 2016/7) çiğ kahve çekirdeği; *Coffea arabica, Coffea canephora* veya *Coffea robusta, Coffea liberica* ve benzeri türlerden kültüre alınmış kahve ağaçlarının meyvelerinden çeşitli yöntemlerle ayrılarak kurutulmuş tohumlar olarak tanımlanmaktadır (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2016).
Kahve, içerdiği çeşitli biyoaktif bileşenler nedeniyle beslenme ve sağlık alanında önemli bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Bu bileşenlerin antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri ile sağlık üzerindeki potansiyel etkileri çeşitli çalışmalarda araştırılmaktadır (Machado vd., 2024; Makiso vd., 2024). Kahvenin kimyasal bileşimi ve biyoaktif bileşenlerinin miktarı; kahve türü, yetiştirildiği bölge, kavurma derecesi ve hazırlama yöntemi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Makiso vd., 2024).

2.3 Türkiye'de Kahve Tüketimi

Türkiye'de kahve, geleneksel tüketim kültürünün önemli bir parçası olmakla birlikte, farklı kahve türlerinin ve hazırlama yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla tüketim alışkanlıkları da çeşitlenmektedir. Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA) 2017 verilerine göre, Türkiye'de bireylerin %18,7'sinin kahve türlerini her gün tükettiği, %25,8'inin ise hiç kahve tüketmediği bildirilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2019).
Türkiye'de kahve tüketim alışkanlıklarını inceleyen daha güncel çalışmalarda da Türk kahvesinin önemini koruduğu, bununla birlikte filtre kahve gibi farklı kahve çeşitlerinin

tüketimde yer aldığı görülmektedir. Yüksel ve arkadaşlarının (2022) kahve tüketicileriyle gerçekleştirdiği çalışmada, katılımcıların en fazla Türk kahvesi ve filtre kahveyi tercih ettikleri; kahve tüketiminin dinlenme ve sosyalleşme gibi nedenlerle de ilişkilendirildiği belirlenmiştir (Yüksel vd., 2022). Bu bulgular, Türkiye'de geleneksel kahve tüketiminin devam ederken kahve tüketim tercihlerinin de çeşitlendiğini göstermektedir.

2.4 Kahvenin Kimyasal Bileşimi

Kahve, 1000'den fazla kimyasal bileşen içeren kompleks bir yapıya sahiptir. Kahve çekirdeklerinin kimyasal bileşimi kavurma işlemiyle önemli ölçüde değişmektedir. Çiğ kahve çekirdeklerinin kuru ağırlığının yaklaşık %59–61'ini karbonhidratlar, %8–18'ini lipitler, %9–16'sını proteinler, %1–6'sını azotlu bileşikler ve %4'ünü mineraller oluşturmaktadır. Kavurma işlemi sonrasında ise karbonhidratların oranı yaklaşık %38–42'ye, proteinlerin oranı %7,5–10'a ve azotlu bileşiklerin oranı %1–2'ye değişirken, lipitlerin oranı %10–15 düzeyinde bulunmaktadır. Kavrulmuş kahve çekirdeklerinde mineral içeriği yaklaşık %3,7–5 düzeyindedir. Ayrıca kavurma sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonları sonucunda oluşan melanoidinler, kavrulmuş kahve çekirdeğinin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır (Peng vd., 2025).

Kahvenin kimyasal yapısında karbonhidrat, lipit ve proteinlerin yanı sıra kafein, trigonellin, klorojenik asitler, kafestol ve kahweol gibi çeşitli biyoaktif bileşenler de bulunmaktadır. Bu bileşenlerin miktarları kahve türü, yetiştirme koşulları, işleme yöntemleri ve kavurma derecesine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Özellikle kavurma sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonları ve piroliz, kahvenin kimyasal bileşiminin değişmesinde ve karakteristik renk, aroma ve lezzet özelliklerinin oluşmasında önemli rol oynamaktadır (Peng vd., 2025)

2.5 Kahvenin Demlenmesi

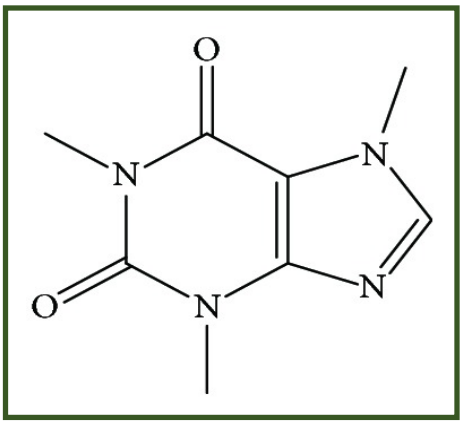
Kahve içeceği, kavrulmuş ve öğütülmüş kahve çekirdeklerinin su ile ekstrakte edilmesiyle hazırlanmaktadır. Demleme yöntemi; kahvenin kimyasal bileşimini, biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonunu ve duyusal özelliklerini etkileyebilmektedir. Türk kahvesi, filtre kahve, French press, moka ve espresso gibi farklı hazırlama yöntemlerinde sıcaklık, basınç, öğütme derecesi, kahve-su oranı ve temas süresi farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, hazırlanan kahvenin kafein, klorojenik asitler ve diterpenler gibi bileşenlerinin miktarını etkileyebilmektedir (Karagöz vd., 2024).

2.6 Biyoaktif Kahve Bileşenleri

Kahve, makro ve mikro besin ögelerinin yanı sıra çeşitli biyoaktif bileşenler içeren kompleks bir içecektir. Başlıca biyoaktif bileşenleri fenolik asitler (özellikle klorojenik asitler ve laktonları), metilksantinler (kafein, teofilin ve teobromin), diterpenler (kafestol ve kahweol) ve trigonellin oluşturmaktadır (Wu vd., 2022).

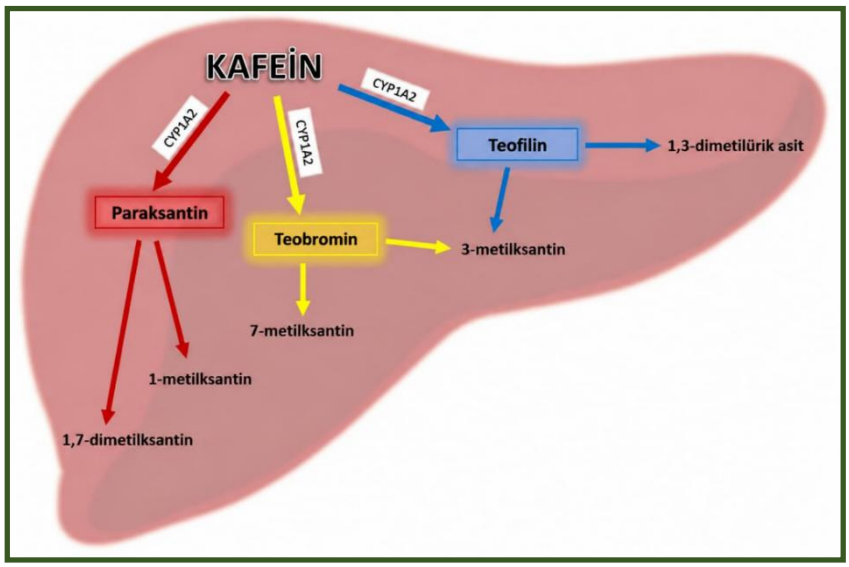
2.6.1 Kafein

Kafein (1,3,7-trimetilksantin), moleküler formülü $C_8H_{10}N_4O_2$ olan, metilksantin grubunda yer alan doğal bir alkaloiddir. Pürin yapısına benzer heterosiklik bir yapıya sahip olan kafein, kahvenin başlıca biyoaktif bileşenlerinden biridir (Reddy vd., 2024). Kafeinin kimyasal yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir (Nuhu, 2014).



Şekil 1. Kafeinin kimyasal yapısı

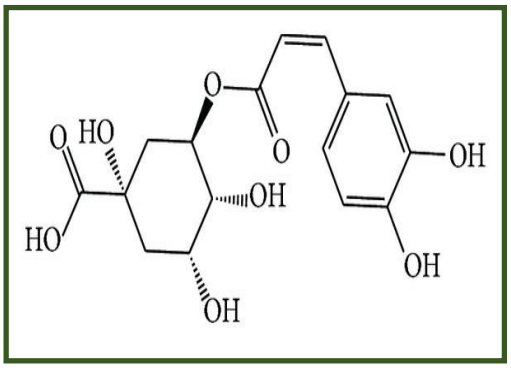
Kafein oral alım sonrasında gastrointestinal sistemden hızla emilmekte ve kan-beyin bariyerini kolaylıkla geçmektedir. Metabolik yarı ömrü yaklaşık 3–5 saat olup metabolizması büyük ölçüde karaciğerde CYP1A2 enzimi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Kafein başlıca paraksantin, daha düşük oranlarda ise teobromin ve teofiline metabolize edilmekte ve oluşan metabolitler çoğunlukla idrar yoluyla vücuttan uzaklaştırılmaktadır (Rodak vd., 2021). Kafeinin karaciğerde CYP1A2 enzimi aracılığıyla başlıca paraksantin, daha düşük oranlarda ise teobromin ve teofiline metabolize edilme yolları Şekil 2'de gösterilmektedir. (Rodak vd., 2021).



Şekil 2.Karaciğerde kafein metabolizmasının başlıca yolları (Rodak vd., 2021).

2.6.2 Klorojenik Asitler

Klorojenik asitler, hidroksisinnamik asitler ile kinik asidin esterleşmesi sonucu oluşan ve kahvenin başlıca fenolik bileşenleri arasında yer alan bir bileşik grubudur. Klorojenik asitler temel olarak kafeoilkinik asitler (CQA), feruloilkinik asitler (FQA) ve dikafeoilkinik asitler (diCQA) olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır (Murai & Matsuda, 2023). Kahvede bol bulunan klorojenik asit türevlerinden biri olan 5-kafeoilkinik asidin (5-CQA) kimyasal yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir (Nuhu, 2014).



Şekil 3. Klorojenik asidin kimyasal yapısı

2.6.3 Diterpenler

Kafestol ve kahweol, kahvede bulunan başlıca diterpenlerdir. Bu bileşikler kahve çekirdeğinin lipit fraksiyonunda yer almakta ve kahvedeki miktarları kahve türü, kavurma derecesi ve hazırlama yöntemine bağlı olarak değişebilmektedir (Karagöz vd., 2024).
Özellikle demleme yöntemi, hazırlanan kahvenin diterpen içeriğini önemli ölçüde etkilemektedir. Kâğıt filtre kullanılarak hazırlanan kahvelerde kafestol ve kahweol miktarı daha düşükken, filtre edilmeden hazırlanan kahvelerde bu bileşiklerin miktarı daha yüksek olabilmektedir (Santanatoglia vd., 2025).

2.6.4 Trigonellin

Trigonellin (TRG), nikotinik asidin (niasin) azot atomunun metilasyonundan türetilen bir piridin alkaloididir ve N-metil nikotinik asit olarak da adlandırılmaktadır. Kahve çekirdeklerinin kavrulması sırasında trigonellinin bir kısmı nikotinik aside [vitamin B3 (niasin)] dönüşmektedir. Bu dönüşümün düzeyi kavurma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak değişmektedir (Hu vd., 2019; Oğuz & Erdoğan, 2016).

3. KANSER ve KAHVE TÜKETİMİYLE İLİŞKİSİ

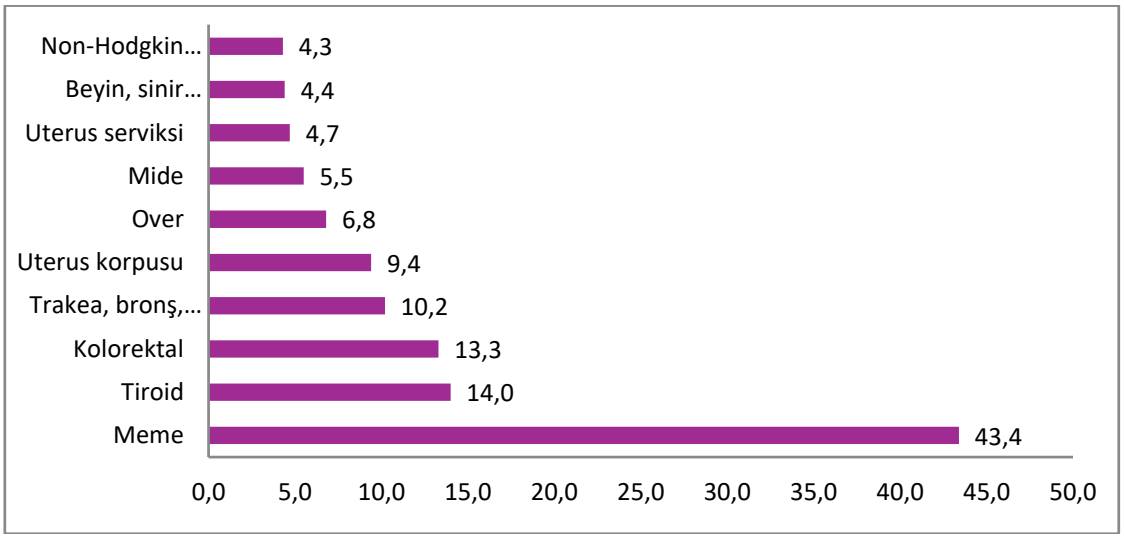
Dünya Sağlık Örgütü (WHO), kanseri vücudun herhangi bir organ veya dokusunda ortaya çıkabilen; anormal hücrelerin kontrolsüz şekilde çoğalarak normal sınırlarının ötesine geçmesi, çevre dokuları istila etmesi ve diğer organlara yayılmasıyla karakterize geniş bir hastalık grubu olarak tanımlamaktadır. Kanser hücrelerinin diğer organlara yayılması metastaz olarak adlandırılmaktadır (WHO, 2026).

3.1 Kanser Etiyolojisi

Kanser gelişimi, genetik faktörler ile çeşitli çevresel etkenlerin etkileşimi sonucunda normal hücrelerin çok aşamalı bir süreç içerisinde tümör hücrelerine dönüşmesiyle ilişkilidir. Kanser gelişiminde rol oynayan dış etkenler; ultraviyole ve iyonlaştırıcı radyasyon gibi fiziksel karsinojenler, tütün dumanı, alkol, asbest ve aflatoksin gibi kimyasal karsinojenler ile bazı virüs, bakteri ve parazitlerin neden olduğu enfeksiyonlar gibi biyolojik karsinojenler olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca tütün ve alkol kullanımı, sağlıksız beslenme, fiziksel hareketsizlik, yüksek beden kütle indeksi ve hava kirliliği kanser gelişimi açısından önemli değiştirilebilir risk faktörleri arasında yer almaktadır (WHO, 2026).

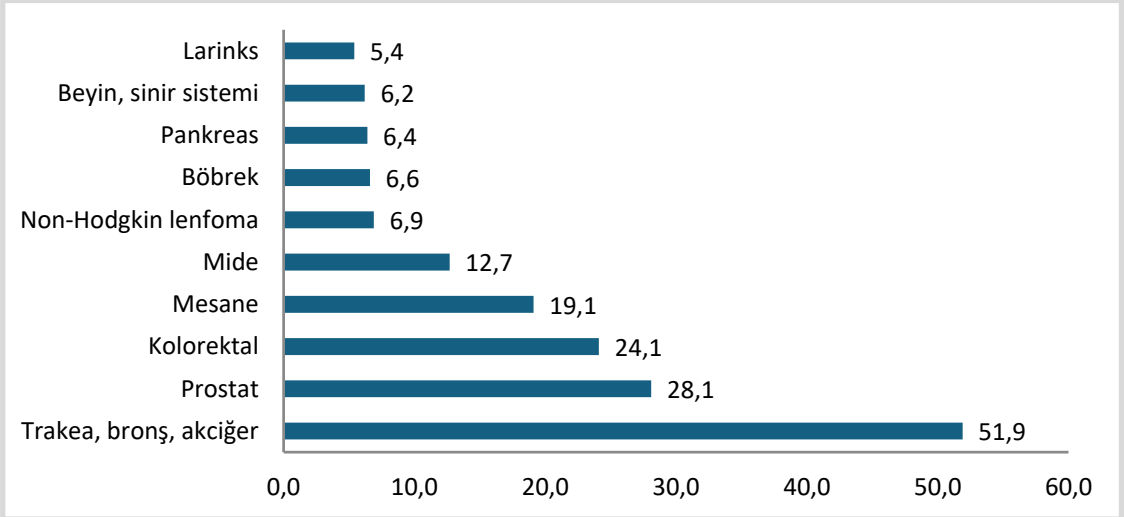
3.2 Türkiye'de Kanser ve Kanser İnsidansı

2020 Türkiye Kanser İstatistiklerine göre kadınlarda en sık görülen kanser meme kanseridir. Şekil 4'te Türkiye'de kadınlarda en sık görülen kanserler yer almaktadır *(T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2025)*.



Şekil 4. Kadınlarda En Sık Görülen 10 Kanserin Yaşa Göre Standardize Edilmiş Hızları (Türkiye Birleşik Veri Tabanı, 2020) (Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)

2020 Türkiye Kanser İstatistiklerine göre erkeklerde en sık görülen kanser trakea, bronş ve akciğer kanseridir. Şekil 5'te Türkiye'de erkeklerde en sık görülen kanserler yer almaktadır *(T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2025)*.



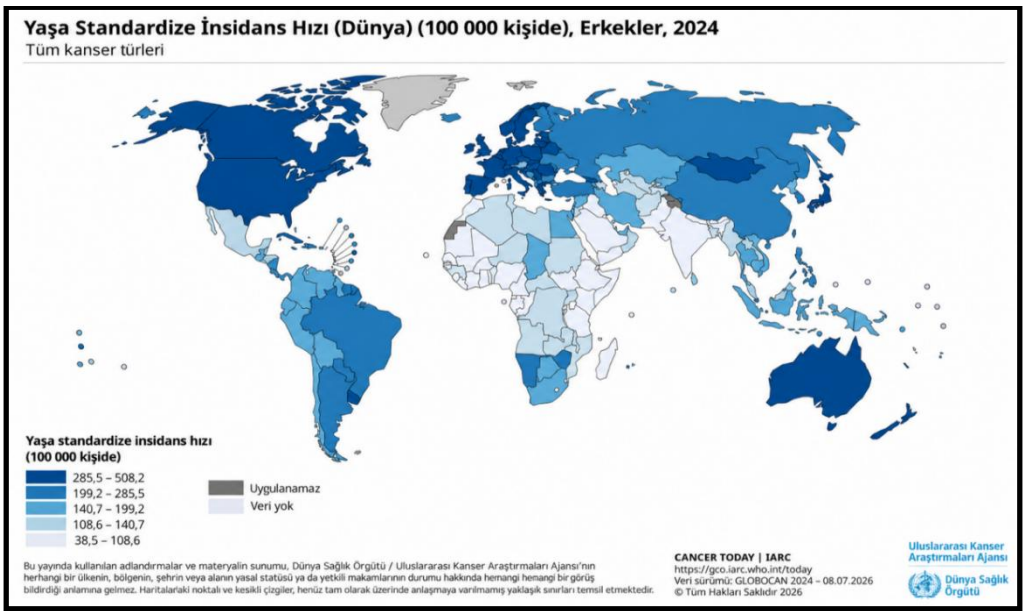
Şekil 5. Erkeklerde En Sık Görülen 10 Kanserin Yaşa Göre Standardize Edilmiş Hızları (Türkiye Birleşik Veri Tabanı, 2020) (Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)

3.3 Dünyada Kanser ve Kanser Raporu

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından yayımlanan GLOBOCAN 2024 verilerine göre, 2024 yılında dünya genelinde yaklaşık 20,6 milyon yeni kanser vakası ve 9,8 milyon kansere bağlı ölüm meydana geldiği tahmin edilmektedir. Dünya genelinde en sık tanı

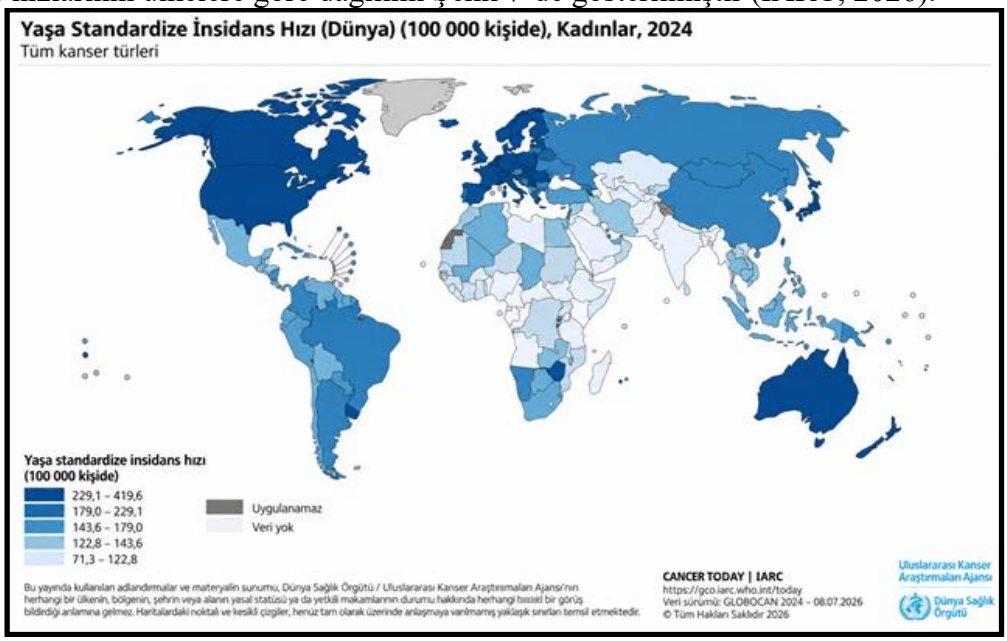
konulan kanser **akciğer kanseri** olup yaklaşık 2,6 milyon yeni vaka ile tüm yeni kanser vakalarının %12,8'ini oluşturmaktadır. Akciğer kanserini kadın meme kanseri (%11,8), kolorektal kanser (%9,9), prostat kanseri (%7,5) ve mide kanseri (%4,7) izlemektedir. Akciğer kanseri aynı zamanda dünya genelinde kansere bağlı ölümlerin en önemli nedeni olup, yaklaşık 1,9 milyon ölümden sorumludur (Sung vd., 2026).

GLOBOCAN 2024 verilerine göre dünya genelinde erkeklerde yaşa standardize kanser insidans hızlarının ülkelere göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir (IARC, 2026).



Şekil 6. Dünya'da Erkeklerde Yaşa Standardize Kanser Hızının Dağılımı

GLOBOCAN 2024 verilerine göre dünya genelinde kadınlarda yaşa standardize kanser insidans hızlarının ülkelere göre dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir (IARC, 2026).



Şekil 7. Dünya'da Kadınlarda Yaşa Standardize Kanser Hızının Dağılımı

3.4 Kahve ve Kanser İlişkisi

Kahve; kafein, klorojenik asitler, kafestol ve kahweol gibi çeşitli biyoaktif bileşenler içermektedir. Bu bileşenlerin antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri nedeniyle kahve tüketimi ile kanser riski arasındaki ilişki birçok çalışmada araştırılmıştır (Pauwels & Volterrani, 2021).

3.4.1 Mide Kanseri

Kafeinin mide kanseri üzerindeki olası etkileri hücre kültürü çalışmalarında araştırılmıştır. Liu ve arkadaşlarının (2017) insan mide kanseri hücreleri üzerinde gerçekleştirdiği *in vitro* çalışmada, kafeinin mide kanseri hücrelerinin büyümesini ve canlılığını azalttığı ve apoptozu artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca kafeinin kaspaz-9 ve kaspaz-3 sinyal yolunu aktive ederek mide kanseri hücrelerinde apoptozu indüklediği gösterilmiştir (Liu vd., 2017).

Temmuz 2014'e kadar yayımlanan 22 epidemiyolojik çalışmanın değerlendirildiği bir meta-analizde, kahve tüketen bireylerde mide kanseri riskinin tüketmeyenlere kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir (RR=0,93; %95 GA: 0,88–0,99). Özellikle vaka-kontrol çalışmalarında bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (RR=0,85; %95 GA: 0,77–0,95) (Xie vd., 2016).

Kahve tüketimi ile mide kanseri riski arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalarda farklı sonuçlar bildirilmiş olmakla birlikte, güncel prospektif verilerin toplu değerlendirilmesi genel risk açısından anlamlı bir ilişki göstermemektedir. Song ve arkadaşlarının (2022) gerçekleştirdiği sistematik derleme ve meta-analizde, 15 çalışmadan elde edilen 18 bağımsız prospektif kohortta toplam 1.608.760 katılımcı ve 3.898 mide kanseri vakası değerlendirilmiştir. Kahve tüketimi ile mide kanseri riski arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (RR: 1,11; %95 GA: 0,99–1,25). Doz-yanıt analizinde de günlük kahve tüketimindeki her bir fincanlık artışın mide kanseri riski ile anlamlı bir ilişki göstermediği bildirilmiştir (RR: 1,00; %95 GA: 0,99–1,01) (Song vd., 2022).

2014 yılına kadar yayımlanan 13 prospektif kohort çalışmasının değerlendirildiği bir meta-analizde, toplam 1.324.559 katılımcı ve 3.484 mide kanseri vakası incelenmiştir. Çalışmada, yüksek kahve tüketiminin mide kardiya kanseri riskini anlamlı düzeyde artırdığı (RR=1,50; %95 GA: 1,09–2,07) belirlenmiştir. Ancak sigara kullanımı ve vücut kitle indeksi gibi değişkenlere göre düzeltme yapıldığında bu ilişkinin anlamlılığını kaybettiği bildirilmiştir (Deng vd., 2016).

2021 yılında yayımlanan bir derlemede, 96.024 kişinin incelendiği bir araştırmada kahve tüketimi ile mide kanseri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. 7.631 mide kanseri vakasını kapsayan bir meta-analizde ise günde 3–4 fincan kahve tüketimiyle risk azalması yönünde istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir eğilim görülmüştür. Buna karşılık, ABD'deki bazı çalışmalarda yüksek kahve tüketimiyle mide kanseri riskinde %36 artış ilişkisi bildirilmiştir (Pauwels ve Volterrani, 2021).

Parra-Lara ve arkadaşlarının (2020) 25 ülkeyi kapsayan ekolojik çalışmasında, kahve tüketimi ile mide kanseri görülme sıklığı ve mide kanserine bağlı ölüm oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı, ters yönlü bir ilişki saptanmıştır. Araştırmacılar, kahvenin antioksidan ve antitümör özellikteki bileşenlerinin koruyucu etki gösterebileceğini belirtmişlerdir. Ancak bu ilişkinin nedenselliği kanıtlamadığı vurgulanmıştır (Parra-Lara vd., 2020).

3.4.2 Karaciğer Kanseri

Kahve tüketimi ile karaciğer kanseri arasındaki ilişki birçok epidemiyolojik çalışmada araştırılmıştır. Özellikle hepatoselüler karsinom (HCC) açısından, kahve tüketiminin daha düşük kanser riski ile ilişkili olabileceğine yönelik bulgular bulunmaktadır. Kahvenin bu olası etkisinde kafein ve klorojenik asitler gibi biyoaktif bileşenlerin antioksidan ve antiinflamatuvar özelliklerinin rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu mekanizmalar kahve tüketimi ile HCC arasındaki gözlemsel ilişkiye biyolojik açıklamalar sunmakta olup tek başına nedenselliği göstermemektedir (Kennedy vd., 2017).

Kahve tüketiminin, hepatit B ve C, alkole bağlı karaciğer hastalığı ve alkole bağlı olmayan yağlı karaciğer hastalığı gibi farklı karaciğer hastalıklarında olumlu etkiler gösterebildiği bildirilmiştir. Özellikle günde iki fincandan fazla kahve tüketiminin karaciğer enzimlerinde (ALT, AST ve GGT) iyileşme ile fibroz, siroz ve hepatoselüler karsinom (HCC) gelişme riskinde azalma ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kahve tüketiminin karaciğer hastalığına bağlı ölüm oranlarında azalma ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Wadhawan & Anand, 2016).

Kennedy ve arkadaşlarının (2017) gerçekleştirdiği sistematik derleme ve doz-yanıt meta-analizinde, 18 kohort ve 8 vaka-kontrol çalışması değerlendirilmiştir. Günlük kahve tüketimindeki iki fincanlık artışın HCC riskinde %35 daha düşük risk ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (RR: 0,65; %95 GA: 0,59–0,72). Yalnızca daha yüksek kalitede olduğu belirtilen kohort çalışmalarında da ters yönlü ilişki devam etmiş ve RR 0,71 (%95 GA: 0,65–0,77) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte araştırmacılar; randomize kontrollü çalışmaların bulunmaması, olası yayın yanlılığı ve çalışmalar arasında kahve tanımının standart olmaması nedeniyle kanıt kalitesini GRADE ölçütlerine göre "çok düşük" olarak değerlendirmiştir (Kennedy vd., 2017).

Daha güncel olarak Yu ve arkadaşlarının (2023) gerçekleştirdiği sistematik derleme ve meta-analizde, kahve tüketimine ilişkin **21 çalışma, 2.492.625 katılımcı ve 5.980 HCC vakası** değerlendirilmiştir. Daha yüksek kahve tüketiminin daha düşük HCC riski ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (RR: 0,53; %95 GA: 0,47–0,59). Benzer sonuçların hem kohort hem de vaka-kontrol çalışmalarının alt grup analizlerinde görüldüğü bildirilmiştir. Araştırmacılar, kahve tüketimi ile HCC riski arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğunu, ancak bu bulguların daha iyi tasarlanmış gözlemsel çalışmalar ve klinik araştırmalarla doğrulanması gerektiğini belirtmiştir (Yu vd., 2023).

Kahve tüketimi ile safra yolu ve karaciğer kanseri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir meta-analizde, 5 safra yolu kanseri ve 13 karaciğer kanseri çalışması değerlendirilmiştir. Kahve tüketimindeki günlük her bir fincanlık artışın karaciğer kanseri riskinde %15 azalma ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (RR=0,85; %95 GA: 0,82–0,88). Buna karşılık, kahve tüketimi ile safra yolu kanseri riski arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Godos vd., 2017).

3.4.3 Akciğer Kanseri

Kahve tüketimi ile akciğer kanseri riski arasındaki ilişkiyi inceleyen epidemiyolojik çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı araştırmalarda yüksek kahve tüketimi ile akciğer kanseri riski arasında pozitif bir ilişki bildirilirken, sigara kullanımı dikkate alındığında bu ilişkinin zayıflayabildiği görülmüştür. Sigara kullanımının hem kahve tüketimiyle ilişkili olabilmesi hem de akciğer kanserinin önemli bir risk faktörü olması, araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken bir durumdur (Galarraga & Boffetta, 2016).

Jabbari ve arkadaşlarının (2024) gerçekleştirdiği sistematik derleme ve doz-yanıt meta-analizinde, 14 prospektif kohort çalışması değerlendirilmiştir. Yüksek kahve tüketiminin düşük tüketime kıyasla akciğer kanseri riskinde artış ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (RR: 1,28; %95 GA: 1,12–1,47). Doz-yanıt analizinde ise günlük kahve tüketimindeki her bir fincanlık artışın

akciğer kanseri riskinde %6'lık artış ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (RR: 1,06; %95 GA: 1,03–1,09) (Jabbari vd., 2024).

Zheng ve arkadaşlarının (2026) UK Biobank verileriyle gerçekleştirdiği prospektif kohort çalışmasında, 276.209 katılımcı ortanca 13,26 yıl boyunca takip edilmiş ve 3.821 akciğer kanseri vakası belirlenmiştir. Kahve tüketmeyen bireylerle karşılaştırıldığında, günde 0,5–1 fincan kahve tüketenlerde akciğer kanseri riskinin %28, günde 2–3 fincan tüketenlerde ise %23 daha düşük olduğu bildirilmiştir (Zheng vd., 2026).

Jin ve Je (2024) tarafından gerçekleştirilen başka bir meta-analizde, 26 prospektif çalışma kapsamında 1.795.158 katılımcı ve 30.305 akciğer kanseri vakası incelenmiştir. Yüksek kahve tüketimi ile akciğer kanseri riski arasında pozitif bir ilişki saptanmasına rağmen (RR: 1,30; %95 GA: 1,11–1,53), hiç sigara içmeyen bireylerde bu ilişki istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (RR: 1,18; %95 GA: 0,999–1,38). Beden kütle indeksine göre düzeltme yapılan çalışmalarda da anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (RR: 1,06; %95 GA: 0,87–1,30). Bu bulgular, kahve tüketimi ile akciğer kanseri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde sigara kullanımı ve diğer karıştırıcı faktörlerin önemini göstermektedir (Jin & Je, 2024).

3.4.4 Meme Kanseri

Kahve tüketimi ile meme kanseri riski arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kahvenin içerdiği kafein ve diterpenlerin meme kanseri riski üzerindeki olası etkileri araştırılmış, ancak bu bileşenlerin etkilerine ilişkin bulgular tutarlılık göstermemiştir. Bazı çalışmalarda kahve tüketimi ile meme kanseri riski arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken, tüketilen kahve türüne göre farklı sonuçlar bildiren araştırmalar da bulunmaktadır (Fagherazzi vd., 2011; Lee vd., 2019).

Fagherazzi ve arkadaşlarının (2011) Fransa'da gerçekleştirdiği prospektif kohort çalışmasında, 67.703 kadın ortanca 11 yıl boyunca takip edilmiş ve 2.868 meme kanseri vakası belirlenmiştir. Çalışmada kahve, çay ve kafein tüketimi ile meme kanseri riski arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Menopoz durumu ve tümörlerin hormon reseptör özelliklerine göre yapılan alt grup analizlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Fagherazzi vd., 2011).

Avrupa Prospektif Kanser ve Beslenme Araştırması (EPIC) kapsamında gerçekleştirilen kohort çalışmasında, 335.060 kadının kahve tüketimi ile meme kanseri riski arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Ortalama 11 yıllık takip süresinde, menopoz öncesi kadınlarda 1.064, menopoz sonrası kadınlarda ise 9.134 meme kanseri vakası belirlenmiştir. Yüksek kafeinli kahve tüketiminin, düşük tüketime kıyasla menopoz sonrası meme kanseri riskinde azalma ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (HR: 0,90; %95 GA: 0,82–0,98). Ayrıca menopoz sonrası östrojen ve progesteron reseptörü negatif meme kanserinde, günlük kafeinli kahve tüketimindeki her 100 mL artışın %4 daha düşük risk ile ilişkili olduğu saptanmıştır (HR: 0,96; %95 GA: 0,93–1,00) (Bhoo-Pathy vd., 2015).

Lee ve arkadaşlarının (2019) Hong Kong'da gerçekleştirdiği vaka-kontrol çalışmasında, 24–84 yaş aralığındaki 2.169 kadının kahve tüketim alışkanlıkları değerlendirilmiştir. Genel kahve tüketimi ile meme kanseri riski arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken, tüketilen kahve türüne göre farklı sonuçlar elde edilmiştir. Hazır kahve tüketimi daha yüksek meme kanseri olasılığı ile ilişkili bulunurken (AOR: 1,50; %95 GA: 1,10–2,03), demlenmiş kahve tüketimi daha düşük meme kanseri olasılığı ile ilişkili bulunmuştur (AOR: 0,48; %95 GA: 0,28–0,82). Araştırmacılar, farklı kahve türleri ile meme kanseri arasındaki ilişkinin daha geniş kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir (Lee vd., 2019).

3.4.5 Kolorektal Kanser

Kahve tüketimi ile kolorektal kanser riski arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda kahve tüketimi ile kolon kanseri riski arasında ters yönlü bir ilişki bildirilirken, kolorektal kanserin genelinde ve rektum kanserinde anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Sartini ve arkadaşlarının (2019) gerçekleştirdiği sistematik derleme ve meta-analizde, 26 prospektif çalışma değerlendirilmiştir. Kahve tüketimi ile genel kolorektal kanser riski arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Bununla birlikte, kolon kanseri açısından kahve tüketiminin daha düşük risk ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (RR: 0,91; %95 GA: 0,83–0,998). Rektum kanseri açısından ise anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (RR: 1,00; %95 GA: 0,89–1,11) (Sartini vd., 2019).

Yakın zamanda gerçekleştirilen bir prospektif kohort çalışmasında, evre I–III kolorektal kanser tanısı almış 1.719 hastanın kahve tüketimi ile hastalığın tekrarlama riski arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Günlük 2 fincandan az kahve tüketen hastalarla karşılaştırıldığında, 4 fincandan fazla kahve tüketenlerde kolorektal kanserin tekrarlama riskinin %32 daha düşük olduğu belirlenmiştir (HR: 0,68; %95 GA: 0,49–0,94). Ayrıca günlük 4 fincan kahve tüketiminin tüm nedenlere bağlı ölüm riski açısından en düşük risk düzeyiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (HR: 0,68; %95 GA: 0,53–0,88) (Oyelere vd., 2024).

4. SONUÇ

Kahve, dünya genelinde yaygın olarak tüketilen ve içerdiği biyoaktif bileşenler nedeniyle sağlık üzerindeki etkileri araştırılan bir içecektir. Kafein, klorojenik asitler, kafestol ve kahweol gibi bileşenlerin antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri, kahve tüketimi ile kanser arasındaki ilişkinin incelenmesine neden olmuştur. Ancak yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, kahve tüketiminin kanser riski ile ilişkisinin kanser türüne göre farklılık gösterdiği görülmektedir.

Bu çalışmada incelenen araştırmalarda, kahve tüketimi ile en belirgin ters yönlü ilişkinin karaciğer kanserinde bulunduğu görülmüştür. Özellikle hepatoselüler karsinom açısından yüksek kahve tüketiminin daha düşük kanser riski ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Mide kanseri üzerine yapılan çalışmalarda ise bazı araştırmalarda risk azalması bildirilirken, özellikle prospektif çalışmaların meta-analizlerinde genel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Akciğer kanseri açısından değerlendirildiğinde, araştırmalarda birbirinden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda yüksek kahve tüketimi ile artmış risk arasında ilişki bulunurken, bazı çalışmalarda daha düşük risk bildirilmiştir. Bu farklılıkların değerlendirilmesinde özellikle sigara kullanımının önemli bir faktör olduğu görülmektedir. Meme kanseri üzerine yapılan araştırmalarda ise menopoz durumu ve tüketilen kahve türüne göre farklı sonuçlar bildirilmiştir.

Kolorektal kanser ile ilgili çalışmalarda genel kanser riski açısından anlamlı bir ilişki bulunmamakla birlikte, kolon kanseri özelinde daha düşük riskle ilişkili bulgular elde edilmiştir. Ayrıca kolorektal kanser tanısı almış bireylerde kahve tüketiminin hastalığın tekrarlama riski ve tüm nedenlere bağlı ölüm riskinin daha düşük olmasıyla ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

Kahve tüketimi ile kanser arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde tüketim miktarı, kahvenin hazırlanma yöntemi, sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları ve bireysel özellikler önem taşımaktadır. Mevcut çalışmaların büyük bölümünün gözlemsel nitelikte olması nedeniyle kahvenin kanseri doğrudan önlediği veya kanser riskini artırdığı yönünde kesin bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. Kahve tüketiminin farklı kanser türleri üzerindeki olası etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için uzun süreli ve kapsamlı araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

Bhoo-Pathy, N., Peeters, P. H. M., Uiterwaal, C. S. P. M., Bueno-de-Mesquita, H. B., Bulgiba, A. M., Bech, B. H., Overvad, K., Tjønneland, A., Olsen, A., Clavel-Chapelon, F., Fagherazzi, G., Perquier, F., Teucher, B., Kaaks, R., Schütze, M., Boeing, H., Lagiou, P., Orfanos, P., Trichopoulou, A., ... van Gils, C. H. (2015). Coffee and tea consumption and risk of pre- and postmenopausal breast cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) cohort study. Breast Cancer Research, 17, Article 15. https://doi.org/10.1186/s13058-015-0521-3

Deng, W., Yang, H., Wang, J., Cai, J., Bai, Z., Song, J., & Zhang, Z. (2016). Coffee consumption and the risk of incident gastric cancer--A meta-analysis of prospective cohort studies. *Nutrition and cancer*, *68*(1), 40–47. https://doi.org/10.1080/01635581.2016.1115093

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2015). Scientific opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal*, 13(5), 4102. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4102

Fagherazzi, G., Touillaud, M. S., Boutron-Ruault, M. C., Clavel-Chapelon, F., & Romieu, I. (2011). No association between coffee, tea or caffeine consumption and breast cancer risk in a prospective cohort study. *Public Health Nutrition*, 14(7), 1315–1320. https://doi.org/10.1017/S1368980011000371

Galarraga, V., & Boffetta, P. (2016). Coffee drinking and risk of lung cancer—A meta-analysis. Cancer Epidemiology, *Biomarkers & Prevention*, 25(6), 951–957. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-15-0727

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. (2016). Türk Gıda Kodeksi Kahve ve Kahve Ekstraktları Tebliği (Tebliğ No: 2016/7). Resmî Gazete.

Gönder, M., & Şanlıer, N. (2014). Kahve tüketimi ve nörodejeneratif hastalıklarla ilişkisi. *Turkiye Klinikleri Journal of Neurology*, 9(2), 67–72.

Godos, J., Micek, A., Marranzano, M., Salomone, F., Rio, D. D., & Ray, S. (2017). Coffee Consumption and Risk of Biliary Tract Cancers and Liver Cancer: A Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Nutrients*, *9*(9), 950. https://doi.org/10.3390/nu9090950

Hu, G. L., Wang, X., Zhang, L., & Qiu, M. H. (2019). The sources and mechanisms of bioactive ingredients in coffee. *Food & Function*, 10(6), 3113–3126.

International Agency for Research on Cancer. (2026). Global Cancer Observatory: Cancer Today—GLOBOCAN 2024. *World Health Organization*. https://gco.iarc.who.int/today/

Jabbari, M., Salari-Moghaddam, A., Bagheri, A., Larijani, B., & Esmaillzadeh, A. (2024). A systematic review and dose–response meta-analysis of prospective cohort studies on coffee consumption and risk of lung cancer. *Scientific Reports*, 14, Article 14991. https://doi.org/10.1038/s41598-024-62619-6

Jin, S., & Je, Y. (2024). Coffee consumption and risk of lung cancer: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Nutrition and Cancer*, 76(7), 552–562. https://doi.org/10.1080/01635581.2024.2348219

Karagöz, M. F., Koçyiğit, E., Koçak, T., Özturan Şirin, A., Icer, M. A., Ağagündüz, D., & Coreta-Gomes, F. (2024). Decoding coffee cardiometabolic potential: Chemical composition, nutritional, and health relationships. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 23(5), e13414.

Karaman, N., Kılıç, A., & Avcıkurt, C. (2019). Tüketicilerin kahve kafeleri ziyaret eğilimlerinin ve değişen kahve tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi: Geleneksel Türk kahvesi üzerine bir araştırma. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(3), 612–632. https://doi.org/10.26677/TR1010.2019.181

Kennedy, O. J., Roderick, P., Buchanan, R., Fallowfield, J. A., Hayes, P. C., & Parkes, J. (2017). Coffee, including caffeinated and decaffeinated coffee, and the risk of hepatocellular carcinoma: A systematic review and dose–response meta-analysis. *BMJ Open*, *7*(5), e013739. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-013739

Lee, P. M. Y., Chan, W. C., Kwok, C. C., Wu, C., Law, S. H., Tsang, K. H., Yu, W. C., Yeung, Y. C., Chang, L. D. J., Wong, C. K. M., Wang, F., & Tse, L. A. (2019). Associations between coffee products and breast cancer risk: A case-control study in Hong Kong Chinese women. *Scientific Reports*, 9, Article 12684. https://doi.org/10.1038/s41598-019-49205-x

Liu, H., Zhou, Y., & Tang, L. (2017). Caffeine induces sustained apoptosis of human gastric cancer cells by activating the caspase-9/caspase-3 signalling pathway. *Molecular Medicine Reports*, *16*(3), 2445–2454. https://doi.org/10.3892/mmr.2017.6894

Machado, F., Coimbra, M. A., del Castillo, M. D., & Coreta-Gomes, F. (2024). Mechanisms of action of coffee bioactive compounds—A key to unveil the coffee paradox. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(28), 10164–10186. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2221734

Macit, M. S., & Köksal, E. (2020). Kahve tüketiminin obezite tedavisinde destekleyici rolü. *Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Dergisi*, 3(1), 119–127. https://doi.org/10.5336/jtracom.2019-72433.

Makiso, M. U., Tola, Y. B., Ogah, O., & Endale, F. L. (2024). Bioactive compounds in coffee and their role in lowering the risk of major public health consequences: A review. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 734–764. https://doi.org/10.1002/fsn3.3848

Murai, T., & Matsuda, S. (2023). The Chemopreventive Effects of Chlorogenic Acids, Phenolic Compounds in Coffee, against Inflammation, Cancer, and Neurological Diseases. *Molecules*, 28(5), 2381. https://doi.org/10.3390/molecules28052381

Nuhu A. A. (2014). Bioactive micronutrients in coffee: recent analytical approaches for characterization and quantification. *ISRN nutrition*, 2014, 384230. https://doi.org/10.1155/2014/384230

Oğuz, S., & Erdoğan, Z. (2016). Kahve tüketiminin kalp sağlığı üzerine etkisi. *Journal of Cardiovascular Nursing*, 7(14), 136–139.

Oyelere, A. M., Kok, D. E., Bos, D., Gunter, M. J., Ferrari, P., Keski-Rahkonen, P., de Wilt, J. H. W., van Halteren, H. K., Kouwenhoven, E. A. K., van Duijnhoven, F. J. B., & Kampman, E. (2024). Coffee consumption is associated with a reduced risk of colorectal cancer recurrence and all-cause mortality. *International Journal of Cancer*, 154(12), 2054–2063. https://doi.org/10.1002/ijc.34879

Parra-Lara, L. G., Mendoza-Urbano, D. M., Bravo, J. C., Salamanca, C. H., & Zambrano, Á. R. (2020). Coffee Consumption and Its Inverse Relationship with Gastric Cancer: An Ecological Study. *Nutrients*, *12*(10), 3028. https://doi.org/10.3390/nu12103028

Pauwels, E. K. J., & Volterrani, D. (2021). Coffee Consumption and Cancer Risk: An Assessment of the Health Implications Based on Recent Knowledge. *Medical principles and practice: international journal of the Kuwait University, Health Science Centre*, *30*(5), 401–411. https://doi.org/10.1159/000516067

Peng, R., Lan, M., Zhang, Y., Zhang, S., Yu, B., Yang, X., Li, S., Liu, Z., & Kang, W. (2025). Transforming coffee from an empirical beverage to a targeted nutritional intervention: health effects of coffee's core functional components on chronic diseases. *Frontiers in nutrition*, 12, 1690881. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1690881

Reddy, V. S., Shiva, S., Manikantan, S., & Ramakrishna, S. (2024). Pharmacology of caffeine and its effects on the human body. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 10, 100138. https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100138

Rodak, K., Kokot, I., & Kratz, E. M. (2021). Caffeine as a Factor Influencing the Functioning of the Human Body-Friend or Foe? *Nutrients*, 13(9), 3088. https://doi.org/10.3390/nu13093088

Saltan, F. Z., & Kaya, H. (2018). Kahve: Bir farmakognozik derleme. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 43(3), 279–289.

Santanatoglia, A., Schievano, E., Menegazzo, I., Fioretti, L., Caprioli, G., & Vittori, S. (2025). Cafestol and kahweol content in different specialty coffee brews: Exploration by NMR analysis and evaluation of brewing parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*, 137, 106929. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106929

Sartini, M., Bragazzi, N. L., Spagnolo, A. M., Schinca, E., Ottria, G., Dupont, C., & Cristina, M. L. (2019). Coffee consumption and risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Nutrients*, 11(3), Article 694. https://doi.org/10.3390/nu11030694

Song, H., Shen, X., Chu, Q., & Zheng, X. (2022). Coffee consumption is not associated with the risk of gastric cancer: An updated systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Nutrition Research, 102*, 35–44. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2022.03.002

Sung, H., Filho, A. M., Laversanne, M., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2026). Global cancer statistics 2024: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 34 cancers in 186 countries. CA: *A Cancer Journal for Clinicians*, 76(4), e70090. https://doi.org/10.3322/caac.70090

T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2019). Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA) 2017. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1132. Ankara.
T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2025). Türkiye kanser istatistikleri 2020. T.C. Sağlık Bakanlığı.
Temel, E. (2021). İstanbul Tahmishanesi (1590–1836). *Marmara Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 373–401. https://doi.org/10.16985/mtad.1029211
Ülger, N. (2015). Türk kahvesi ve bazı hazır kahve karışımlarının total fenol içeriği ve antioksidan aktivitelerinin karşılaştırılması [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. *Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*.
Wadhawan, M., & Anand, A. C. (2016). Coffee and Liver Disease. *Journal of clinical and experimental hepatology*, 6(1), 40–46. https://doi.org/10.1016/j.jceh.2016.02.003
World Health Organization. (2026). Cancer. *World Health Organization* – Cancer.
Wu, H., Gu, J., BK, A., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2022). Effect of processing on bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds in coffee beans. *Food Bioscience*, 46, 101373. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101373
Xie, Y., Huang, S., He, T., & Su, Y. (2016). Coffee consumption and risk of gastric cancer: an updated meta-analysis. Asia Pacific journal of clinical nutrition, 25(3), 578–588. https://doi.org/10.6133/apjcn.092015.07
Yaşar, A. (2005). Osmanlı şehir mekânları: Kahvehane literatürü. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, 6, 237–256.
Yılmaz, B., Acar-Tek, N., & Sözlü, S. (2017). Turkish cultural heritage: A cup of coffee. *Journal of Ethnic Foods*, 4(4), 213–220. https://doi.org/10.1016/j.jef.2017.11.003
Yu, J., Liang, D., Li, J., Liu, Z., Zhou, F., Wang, T., … Chen, W. (2023). Coffee, Green Tea Intake, and the Risk of Hepatocellular Carcinoma: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Nutrition and Cancer*, *75*(5), 1295–1308. https://doi.org/10.1080/01635581.2023.2178949
Yüksel, F., Goral, M., Kement, Ü., & Güner, Ç. (2022). Türkiye'de Kahveye Yüklenen Anlam ve Kahve Tüketim Alışkanlıkları. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 1967-1996. https://doi.org/10.48146/odusobiad.1123290
Zheng, S., Suo, X., Li, C., Lu, S., Han, J., Bo, Y., & Guo, J. (2026). Association of coffee and tea consumption with the risk of lung cancer: A prospective cohort study from the UK Biobank. *Frontiers in Nutrition*, 12, Article 1724041. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1724041

SAFRA TAŞI İLEUSUNDA HASTAYA ÖZGÜ CERRAHİ YAKLAŞIM: İKİ OLGUDA FARKLI TEDAVİ STRATEJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Baran YERLİKAYA
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Genel Cerrahi Anabilim Dalı, 65080, Van, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9291-8446

ÖZET
Safra taşı ileusu, bilioenterik fistül aracılığıyla gastrointestinal sisteme geçen safra taşının neden olduğu nadir bir mekanik obstrüksiyondur. Bu çalışmada kolesistoduodenal fistüle bağlı safra taşı ileusu gelişen, farklı cerrahi stratejilerle tedavi edilen iki olgu sunulmaktadır. Bilinen komorbiditesi bulunmayan 53 yaşındaki erkek hastaya enterolitotomi, kolesistektomi ve kolesistoduodenal fistülün sütürle onarımı uygulandı. Duodenal dokunun ileri derecede frajil olması ve sütür hattı güvenilirliğinin belirsizliği nedeniyle ek tüp duodenostomi yapıldı. Hasta yedinci postoperatif günde taburcu edildi ve tüp 45. günde çıkarıldı. Obezite, kronik obstrüktif akciğer hastalığı ve koroner arter hastalığı bulunan 72 yaşındaki hastada ise safra kesesinin intraoperatif palpasyonunda makroskopik kalkül saptanmaması ve yüksek cerrahi risk nedeniyle fistüle müdahale edilmedi; distal ileumdaki obstrüktif taş enterotomiyle çıkarılarak ileum primer onarıldı. Hasta beşinci postoperatif günde taburcu edildi. Bu iki olgu, safra taşı ileusunda ameliyat kapsamının yaş, komorbidite yükü, rezidüel taş değerlendirmesi ve duodenal doku kalitesi temelinde bireyselleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Safra taşı ileusu; kolesistoduodenal fistül; enterolitotomi; tüp duodenostomi; duodenal onarım

INDIVIDUALIZED SURGICAL MANAGEMENT OF GALLSTONE ILEUS: TWO DISTINCT APPROACHES

ABSTRACT
Gallstone ileus is an uncommon cause of mechanical bowel obstruction due to migration of a gallstone through a bilioenteric fistula. We report two patients with cholecystoduodenal fistula–associated gallstone ileus managed using different operative strategies. A 53-year-old man without known comorbidities underwent enterolithotomy, cholecystectomy, and sutured closure of the cholecystoduodenal fistula. Because the duodenal tissue was markedly friable and the integrity of the suture line was uncertain, adjunctive tube duodenostomy was performed. He was discharged on postoperative day 7, and the tube was removed on day 45. A 72-year-old patient with obesity, chronic obstructive pulmonary disease, and coronary artery disease underwent enterolithotomy and primary ileal repair alone. No macroscopic gallstones were detected on intraoperative palpation of the gallbladder, and the fistula was left undisturbed in view of the high operative risk. The patient was discharged on postoperative day 5. These cases highlight individualized operative decision-making based on physiological reserve, comorbidities, residual stone assessment, and local duodenal tissue quality.
Keywords: Gallstone ileus; cholecystoduodenal fistula; enterolithotomy; tube duodenostomy; individualized surgery

1. GİRİŞ

Safra taşı ileusu, büyük bir safra taşının çoğunlukla kolesistoduodenal fistül aracılığıyla intestinal lümene geçerek mekanik tıkanıklık oluşturmasıyla gelişir. Nadir görülmesine karşın özellikle ileri yaş ve eşlik eden hastalıkların varlığında önemli perioperatif risk taşır [1,2]. Klinik belirtiler özgül olmayabilir; tanıda bilgisayarlı tomografi (BT), ektopik taşı, bağırsak dilatasyonunu ve pnömobiliyi değerlendirmede belirleyici rol oynar [3,4]. Distal ileum taş impaksiyonunun sık görüldüğü bölgelerden biridir [5].

Cerrahi tedavide öncelik obstrüksiyonun giderilmesidir. İzole enterolitotomi ile tek aşamalı enterolitotomi, kolesistektomi ve fistül onarımı arasında seçim; hastanın fizyolojik rezervi, komorbidite yükü ve lokal inflamasyon dikkate alınarak yapılmalıdır [6]. Bu bildiride farklı yaş ve cerrahi risk profillerine sahip iki hastada uygulanan yaklaşımlar, özellikle frajil duodenal dokuda tüp duodenostominin gerekçesi ve yüksek riskli hastada fistülün korunması üzerinden tartışılmaktadır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, kolesistoduodenal fistüle bağlı safra taşı ileusu nedeniyle ameliyat edilen iki hastanın retrospektif, betimleyici olgu sunumudur. Hastaların yaşları, komorbiditeleri, ameliyat bulguları, uygulanan cerrahi işlemler ve bildirilen erken postoperatif sonuçları mevcut klinik kayıtlardan derlendi. Sağlanan radyolojik ve intraoperatif görüntüler kimliksizleştirilerek değerlendirildi. İki olguluk tasarım nedeniyle istatistiksel karşılaştırma yapılmadı.

3. BULGULAR VE OLGU SUNUMLARI

3.1. Olgu 1: Genç hastada tek aşamalı cerrahi ve koruyucu tüp duodenostomi

Bilinen ek hastalığı olmayan 53 yaşındaki erkek hastada kolesistoduodenal fistüle bağlı safra taşı ileusu tanısı konuldu. Mekanik obstrüksiyona neden olan taş enterotomi yoluyla çıkarıldı. Ardından kolesistektomi yapılarak kolesistoduodenal fistül sütürlerle onarıldı. Fistül çevresindeki duodenal dokular ileri derecede inflamatuvar ve frajildi. Primer sütür onarımının mekanik güvenilirliği intraoperatif olarak kesin değerlendirilemediğinden, onarımın korunması ve kontrollü duodenal dekompresyon amacıyla ek tüp duodenostomi uygulandı. Hasta postoperatif yedinci günde taburcu edildi. Duodenostomi tüpü postoperatif 45. günde çıkarıldı. Tüpün çıkarılması öncesindeki testler ve uzun dönem takip sonuçları mevcut özette belirtilmemiştir.

3.2. Olgu 2: İleri yaş ve komorbiditelerde sınırlı cerrahi

Obezite, kronik obstrüktif akciğer hastalığı ve koroner arter hastalığı bulunan 72 yaşındaki hastada kolesistoduodenal fistüle bağlı safra taşı ileusu saptandı. İntraoperatif palpasyonda safra kesesinde makroskopik kalkül ele gelmedi. İleri yaş ve yüksek komorbidite yükü nedeniyle biliyer diseksiyonun ve duodenal fistül onarımının getireceği ek risklerden kaçınıldı. Distal ileumda obstrüksiyona yol açan taş enterotomi ile çıkarıldı ve ileum primer olarak onarıldı. Safra kesesi yerinde bırakıldı ve kolesistoduodenal fistüle müdahale edilmedi. Hasta postoperatif beşinci günde taburcu edildi. Palpasyonda taş saptanmaması rezidüel mikrokalkül veya görüntülemeyle saptanabilecek küçük taşların kesin olarak dışlandığı anlamına gelmemektedir.

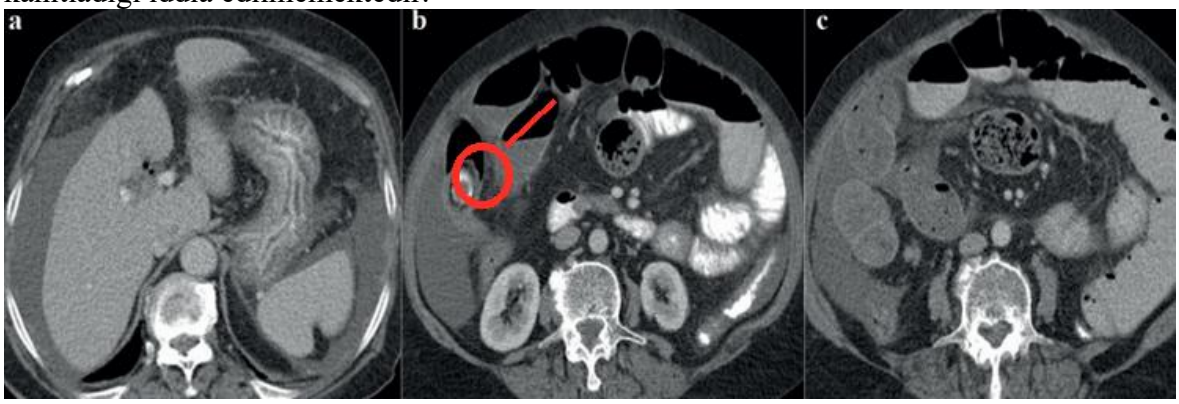
3.3. Olguların karşılaştırılması

Özellik	Olgu 1	Olgu 2
Yaş	53	72
Komorbidite	Bilinen yok	Obezite, KOAH, koroner arter hastalığı
İleal obstrüksiyon	Enterolitotomi	Enterolitotomi
İleum onarımı	Enterotomi kapatıldı	Primer ileal onarım
Kolesistektomi	Yapıldı	Yapılmadı
Fistül	Sütürle onarıldı	Müdahale edilmedi
Safra kesesi palpasyonu	Bildirilmedi	Makroskopik kalkül ele gelmedi
Duodenal doku	Belirgin frajilite	Fistül diseke edilmedi
Tüp duodenostomi	Yapıldı; 45. gün çıkarıldı	Yapılmadı
Taburculuk	Postoperatif 7. gün	Postoperatif 5. gün

Tablo 1. Hastaların klinik ve cerrahi özellikleri. KOAH: kronik obstrüktif akciğer hastalığı.

3.4. Radyolojik ve intraoperatif görüntüler

Sunulan aksiyel BT kesitlerinde mekanik ince bağırsak obstrüksiyonuna eşlik eden ektopik safra taşı izlenmektedir. İkinci (b) BT panelindeki taş kırmızı işaretlemeyle gösterilmiştir. Ayakta direkt batın grafisindeki hava–sıvı seviyeleri mekanik ileus ile uyumludur. Bu görüntüler safra taşı ileus tanısını desteklemektedir; tek başına fistülün tam anatomik sınırlarını kanıtladığı iddia edilmemektedir.



Şekil 1. Abdominal BT: (a) üst abdomen, (b) intestinal lümendeki kalsifiye safra taşı (kırmızı işaretleme), (c) dilate bağırsak ansları ve obstrüksiyon görünümü.



Şekil 2. Ayakta direkt batın grafisinde çoklu hava–sıvı seviyeleri ve dilate ince bağırsak ansları.



Şekil 3a. İntraoperatif enterotomi ve obstrüktif safra taşının çıkarılması aşamalarından görünüm.



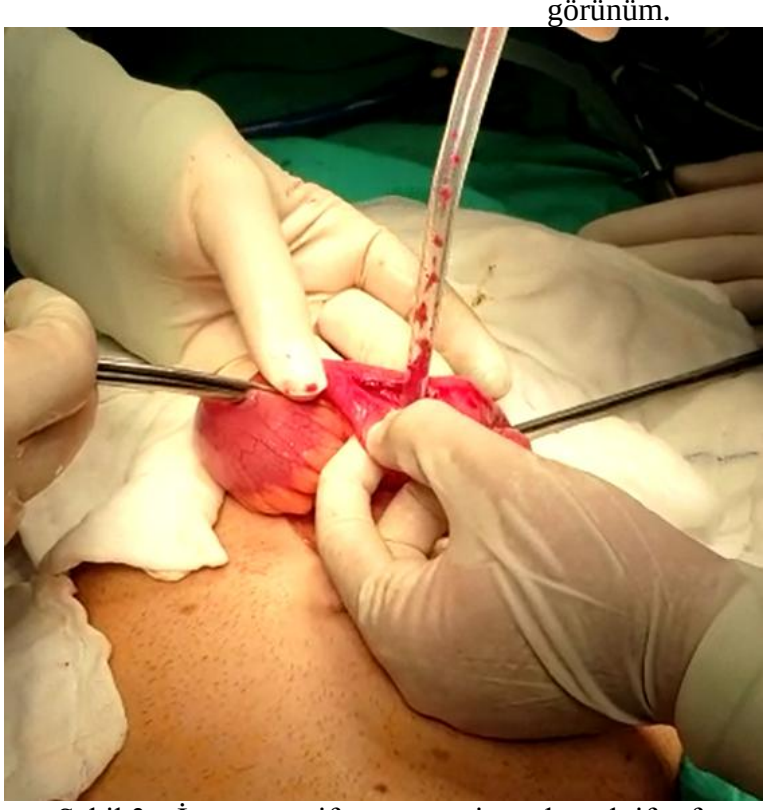
Şekil 3b. İntraoperatif enterotomi ve obstrüktif safra taşının çıkarılması aşamalarından görünüm.



Şekil 3c. İntraoperatif enterotomi ve obstrüktif safra taşının çıkarılması aşamalarından görünüm.



Şekil 3d. İntraoperatif enterotomi ve obstrüktif safra taşının çıkarılması aşamalarından görünüm.



Şekil 3e. İntraoperatif enterotomi ve obstrüktif safra taşının çıkarılması aşamalarından görünüm.

4. TARTIŞMA

Bu iki olgunun temel öğretici yönü, aynı patofizyolojik mekanizmanın farklı fizyolojik rezerv ve anatomik koşullarda farklı cerrahi kapsam gerektirmesidir. İlk olguda daha genç yaş ve bilinen komorbidite bulunmaması, enterolitotomiye ek olarak kolesistektomi ve fistülün eş zamanlı onarımına olanak sağlamıştır. İkinci olguda ise ileri yaş, obezite, KOAH ve koroner arter hastalığı nedeniyle ameliyatın öncelikli hedefi distal ileal obstrüksiyonu en az ek cerrahi yükle gidermek olmuştur. Güncel olgu temelli incelemeler ve karşılaştırmalı çalışmalar, tek bir tekniğin tüm hastalara uygulanmasından ziyade risk uyarlamalı karar vermeyi desteklemektedir [4,6,7].

Genç hastada fistülün sütürle kapatılmasından sonra ek tüp duodenostomi yapılmasının gerekçesi özellikle önemlidir. Burada tüp duodenostomi, fistül onarımının yerine geçen bir işlem değil, belirgin inflamasyon ve frajilite nedeniyle güvenilirliği belirsiz sütür hattında dekompresyon ve kontrollü drenaj sağlayan tamamlayıcı bir strateji olarak kullanılmıştır. Duodenal yaralanma literatüründe de yüksek riskli duodenal onarımlarda dekompresyonun potansiyel yararı tartışılmaktadır [8,9]. Bununla birlikte bu kanıtlar çoğunlukla travmatik duodenal yaralanmalardan kaynaklandığından, kolesistoduodenal fistül onarımına doğrudan genellenmemelidir. Tüpün 45. günde çıkarılmış olması klinik süreci tanımlar; tek başına standart veya ideal çıkarılma zamanı olarak yorumlanamaz.

İleri yaştaki hastada safra kesesinin elle değerlendirilmesinde makroskopik kalkül saptanmaması, mevcut obstrüksiyon giderildikten sonra eş zamanlı kolesistektominin potansiyel ek yararının sınırlı olabileceğini düşündüren intraoperatif bir bulgudur. Bununla birlikte palpasyon küçük veya radyolüsent rezidüel taşları dışlamaz. Dolayısıyla fistülün bırakılması "nüks riski yoktur" anlamına gelmez. Rezidüel taş, tekrarlayan biliyer semptomlar ve nadiren yineleyen safra taşı ileusu açısından klinik takip gerekliliği sürer [7,10]. Bu olguda fistülün diseke edilmemesi, unutulan bir işlemden ziyade kardiyopulmoner riskleri ve gereksiz duodenal manipülasyonu azaltmaya yönelik bilinçli bir tercihtir.

2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analiz, cerrahi stratejiler arasında farklı sonuçlar bildirmiş olsa da dahil edilen çalışmaların gözlemsel niteliği ve hasta seçimi farklılıkları nedeniyle nedensel üstünlük çıkarımı sınırlıdır [1]. Benzer biçimde 2025 tarihli karşılaştırmalı çalışma da komorbidite ve operasyon kapsamının sonuçların yorumunda dikkate alınması gerektiğini göstermektedir [6]. Özellikle genç hastada tek aşamalı cerrahiye rağmen duodenal onarımın frajil doku nedeniyle ek korunma gerektirmesi, hastanın yaşının tek başına yeterli karar ölçütü olmadığını ortaya koymaktadır.

Tanısal açıdan BT'de distal ileumdaki taşın doğrudan gösterilmesi, ileus bulgularıyla birlikte safra taşı ileusu lehine güçlü kanıt oluşturur. Direkt grafideki çoklu hava–sıvı seviyeleri obstrüksiyonu destekler; ancak etiyolojiyi özgül olarak belirlemez. BT'de taşın her zaman belirgin kalsifiye olmaması ve klasik Rigler triadının bütün bileşenlerinin her hastada görülmemesi tanıda dikkat gerektirir [2,3].

Çalışmanın sınırlılıkları iki olguyla sınırlı olması, cerrahi stratejilerin randomize karşılaştırılmaması, laboratuvar ve ASA sınıflaması gibi ayrıntıların sunulmaması ve uzun dönem takip verilerinin bulunmamasıdır. Bu nedenle sonuçlar iki yöntemin karşılaştırmalı etkinliğine değil, cerrahi kararın gerekçelendirilmesine ilişkindir.

5. SONUÇ

Safra taşı ileusunda tedavinin ilk hedefi mekanik intestinal obstrüksiyonun güvenli biçimde giderilmesidir. Daha genç ve düşük komorbiditeli hastada kolesistektomi ile fistülün eş zamanlı onarımı değerlendirilebilir; ancak frajil duodenal dokuda sütür hattı güvenilirliği kuşkuluysa ek dekompresyon stratejileri gerekebilir. İleri yaş ve belirgin kardiyopulmoner komorbiditelerde,

özellikle palpasyonda rezidüel makrokalkül saptanmamışsa, izole enterolitotomi ve primer ileal onarım uygun bir risk azaltıcı seçenek olabilir. Her iki karar da bireyselleştirilmeli ve takip planı oluşturulmalıdır.

ETİK AÇIKLAMA

Bu retrospektif olgu sunumunda hasta verileri kimliksizleştirilerek kullanılmıştır. Klinik kayıtların bilimsel amaçla kullanımına ilişkin hastane başhekimliği ve ilgili anabilim dalı başkanlığının izinleri esas alınmıştır. Bu idari izinler, etik kurul onayı veya klinik görüntülerin yayımlanmasına yönelik hasta onamı ile eşdeğer değildir; yayın öncesinde kurumun etik kurul gereklilikleri ve görsel yayın onamı ayrıca doğrulanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Vadher D, Zacken A, Shah V, et al. The Rolling Stones: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Management of Gallstone Ileus. Chirurgia (Bucur). 2024;119(5):483–514. doi:10.21614/chirurgia.3046.
2. Louis M, Grabill N, Kuhn B, Gibson B. What are the clues to gallstone ileus when stones don’t show up on scans? A case presentation and literature review. Radiol Case Rep. 2024;19(11):5018–5023. doi:10.1016/j.radcr.2024.07.166.
3. Beji H, Chtourou MF, Zribi S, Laamiri G, Bouassida M, Touinsi H. Gallstone ileus: A case report and review of the literature. Int J Surg Case Rep. 2023;106:108221. doi:10.1016/j.ijscr.2023.108221.
4. Elgazar A, Hindawi MD, Abdelaty EA, Salem MA, Kalmoush A, Awad AK. Gallstone ileus: What to do, when, and why: A case-based review of surgical options. Int J Surg Case Rep. 2025;134:111684. doi:10.1016/j.ijscr.2025.111684.
5. Abdullah S, et al. Surgical Management of Gallstone Ileus: Laparoscopic and Open Approaches in a Single-Center Experience. Medicina (Kaunas). 2025. PMID:41470176.
6. Khurshid MH, Hejazi O, Spencer AL, et al. A little goes a long way: A comparison of enterolithotomy versus single-stage cholecystectomy in the management of gallstone ileus. J Trauma Acute Care Surg. 2025;98(4):649–654. doi:10.1097/TA.0000000000004497.
7. Gall Stone Ileus and Recurrence: Management Dilemma for the Operating Surgeon. Cureus. 2024;16(12):e75577. doi:10.7759/cureus.75577.
8. Bolaji T, Ratnasekera A, Ferrada P. Management of the complex duodenal injury. Am J Surg. 2023;225(4):639–644. doi:10.1016/j.amjsurg.2022.12.016.
9. Karveli E, et al. Triple Tube Drainage for the Treatment of Complex Duodenal Injury: A Case Report and Literature Update. Cureus. 2023;15(6):e39995. doi:10.7759/cureus.39995.
10. Augustin G, Bruketa T, Kunjko K, et al. Colonic gallstone ileus: a systematic literature review with a diagnostic-therapeutic algorithm. Updates Surg. 2023;75(5):1071–1082. doi:10.1007/s13304-023-01537-0.

DEĞİŞKEN JEOTERMAL KAYNAK KOŞULLARINDA SABİT DONANIMLI R134a ORGANİK RANKINE ÇEVRİMİNİN TASARIM DIŞI PERFORMANSI

Ömer Faruk GÜLER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID 0000-0002-3344-341X

ÖZET
Bu çalışmada, Afyonkarahisar Ömer–Gecek sahasının 110 °C ve 150 kg/s kaynak koşulları temel alınarak basit bir R134a organik Rankine çevriminin tasarım dışı performansı incelenmiştir. Eşanjörün her çalışma noktasında yeniden boyutlandırılması yerine, sabit alanlı donanımı temsil eden değişken eşdeğer ısıl iletkenlik (UA) yaklaşımı kullanılmıştır. Evaporatörde aktarılabilecek en yüksek ısı, sıcak ve soğuk akımların entalpi sınırlarıyla belirlenmiş; karşı akış ε–NTU bağıntısı bu üst sınıra uygulanmıştır. Modelde 105–115 °C arasında 1 °C adımlı 11 giriş sıcaklığı ve 120–180 kg/s arasında 10 kg/s adımlı 7 debi olmak üzere 77 senaryo çözülmüştür. Fiziksel uygunluk, tam buhar çıkışı ve en az 2 K pinch koşuluyla değerlendirilmiş; 66 senaryo uygulanabilir bulunmuştur. 110 °C–150 kg/s referansında net güç 2,260 MW, evaporatör yükü 22,695 MW, ısıl verim %9,959, UA 901,3 kW/K ve minimum pinch 6,567 K hesaplanmıştır. Uygulanabilir bölgede net güç 2,063–2,519 MW aralığındadır. Referans nokta çevresindeki yerel duyarlılık analizine göre, kaynak sıcaklığındaki +1 °C artış net gücü yaklaşık %1,99, debideki +10 kg/s artış ise %1,59 artırmaktadır. Bu sonuçlar, teorik güç artışlarının sabit eşanjör kapasitesi ve faz koşullarıyla sınırlanan işletme bölgesi içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: jeotermal enerji, organik Rankine çevrimi, R134a, ε–NTU, tasarım dışı performans, pinch analizi.

OFF-DESIGN PERFORMANCE OF A FIXED-HARDWARE R134a ORGANIC RANKINE CYCLE UNDER VARIABLE GEOTHERMAL SOURCE CONDITIONS

ABSTRACT
This study examines the off-design performance of a simple R134a organic Rankine cycle based on the 110 °C and 150 kg/s reference source conditions of the Ömer–Gecek field in Afyonkarahisar. A variable equivalent thermal conductance (UA) represents a fixed-area evaporator, rather than resizing the heat exchanger at each operating point. The maximum heat duty is set by the enthalpy limits of the hot and cold streams and evaluated using a counter-flow ε–NTU relation. The model covers 77 combinations of inlet temperature (105–115 °C) and mass flow rate (120–180 kg/s). Complete vapor production and a minimum pinch of 2 K are required; 66 cases meet the feasibility criteria. At the reference point, net power is 2.260 MW, evaporator duty is 22.695 MW, thermal efficiency is 9.959%, UA is 901.3 kW/K, and the minimum pinch is 6.567 K. Net power ranges from 2.063 to 2.519 MW across the feasible region. Near the reference point, a 1 °C rise in source temperature increases net power by about 1.99%, while a 10 kg/s rise in flow rate increases it by 1.59%. The results show that potential power gains must be assessed within the operating limits imposed by the fixed heat exchanger and the vapor-state requirement.
Keywords: geothermal energy, organic Rankine cycle, R134a, ε–NTU, off-design performance, pinch analysis.

1. GİRİŞ

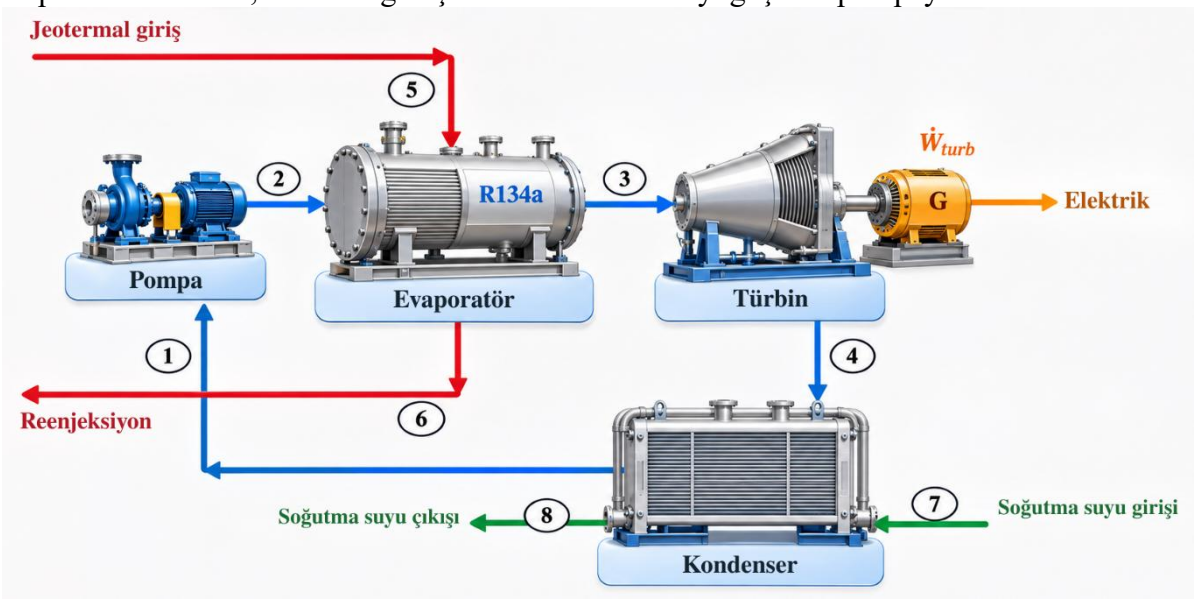
İkili çevrimler düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretir. Jeotermal su eşanjör boyunca soğuduğundan, kullanılabilir ısı ve iş sonlu kaynak kapasitesine bağlıdır (DiPippo, 2007; Kanoglu & Bolatturk, 2008; Yari, 2010).

Tasarım dışı ORC hesaplarında kaynak koşulları, ekipman eşleştirmesi ve basınç kontrolü birlikte değerlendirilir (Dickes et al., 2017; Manente et al., 2013; Quoilin et al., 2013). Jeotermal çevrimlerde sabit ve değişken basınç işletimi farklı performans haritaları verir (Hu, Li, et al., 2015; Hu, Zheng, et al., 2015). Afyon için yayımlanan saha temelli modeller kaynak koşullarını ve yoğuşma etkisini tanımlar (Altun & Kılıç, 2020; Yılmaz, 2020a, 2020b). Bu çalışma aynı donanım ve ayarlarla ulaşılabilen sıcaklık–debi bölgesini belirler.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Sabit donanımlı R134a çevrimi

Sistem pompa, evaporatör, türbin-jeneratör ve su soğutmalı kondenserden oluşur. Şekil 1'de 1–4 R134a, 5–6 jeotermal su ve 7–8 soğutma suyu akımlarının durumlarını gösterir. R134a evaporatörde ısı alır, türbinde genişler ve kondenserde yoğuşarak pompaya döner.



Şekil 1. Sabit donanımlı R134a jeotermal ORC ve durum numaraları.

Tablo 1. Çevrim girdileri ve kaynak aralığı

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Çalışma akışkanı	R134a	Jeotermal akışkan	Sıvı su
ORC kütlesel debisi	108 kg/s	Tgeo aralığı	105–115 °C
Alt / üst basınç	600 / 2900 kPa	mgeo aralığı	120–180 kg/s
Pompa / türbin ηis	0,85 / 0,85	UA ölçek katsayısı	707 kW/K
Yardımcı tüketim oranı	0,15	Referans kaynak	110 °C ve 150 kg/s
Soğutma suyu	11→15 °C	Minimum pinch	2 K

EES modeli kararlı hâlde çözülmüştür. Basınç kayıpları ve çevreye ısı geçişi ihmal edilmiştir. Tablo 1'deki çevrim ayarları korunarak jeotermal giriş sıcaklığı 1 °C, debi 10 kg/s adımla değiştirilmiş ve 77 bağımsız nokta çözülmüştür.

2.2. Entalpi sınırlı ε–NTU modeli

Pompa ve türbin izantropik verimleri %85'tir. Yardımcı tüketim, brüt türbin gücünden çevrim pompası işi çıkarıldıktan sonra kalan gücün %15'i olarak alınır. Denklem (1) bu sınırda net elektrik gücünü verir.

$$\dot{W}_{net} = (1 - f_{par})[\dot{m}_{orc}(h_3 - h_4) - \dot{m}_{orc}(h_2 - h_1)] \quad (1)$$

Isı yükünün üst sınırı, jeotermal akımın R134a pompa çıkış sıcaklığına kadar soğuması ve R134a'nın jeotermal giriş sıcaklığına kadar ısınması için hesaplanan iki entalpi sınırının küçüğüdür (Denklem 2).

$$\dot{Q}_{lim,h} = \dot{m}_{geo}(h_5 - h_{geo@T_2}), \quad \dot{Q}_{lim,c} = \dot{m}_{orc}(h_{orc@T_5} - h_2), \quad \dot{Q}_{max} = \min(\dot{Q}_{lim,h}, \dot{Q}_{lim,c}) \quad (2)$$

Alan sabittir. UA ölçeklemesinde jeotermal debi üssü 0,80, jeotermal giriş ile R134a doyma sıcaklığı arasındaki farkın üssü 2,00'dır. Denklem (3), 110 °C ve 150 kg/s çalışma noktasına göre ifade edilmiştir. Özgün 707 kW/K ölçek katsayısı ve 0,50 direnç payı, bu noktadaki $UA_* = 901{,}3$ kW/K için $\varphi_* \approx 0{,}3626$ verir.

$$F_* = \left(\frac{\dot{m}_{geo}}{\dot{m}_{geo,*}}\right)^{0,80}\left(\frac{\Delta T_{h,sat}}{\Delta T_{h,sat,*}}\right)^{2,00}, \quad UA = \frac{UA_*}{1 - \varphi_* + \varphi_* / F_*} \quad (3)$$

Eşdeğer kapasite debileri, sınır ısı yüklerinin giriş sıcaklık farkına bölünmesiyle elde edilir. Karşı akış etkinliği ε, ısı yükünün üst sınırına uygulanır. $C_r \approx 1$ için $\varepsilon = NTU/(1 + NTU)$ kullanılmıştır.

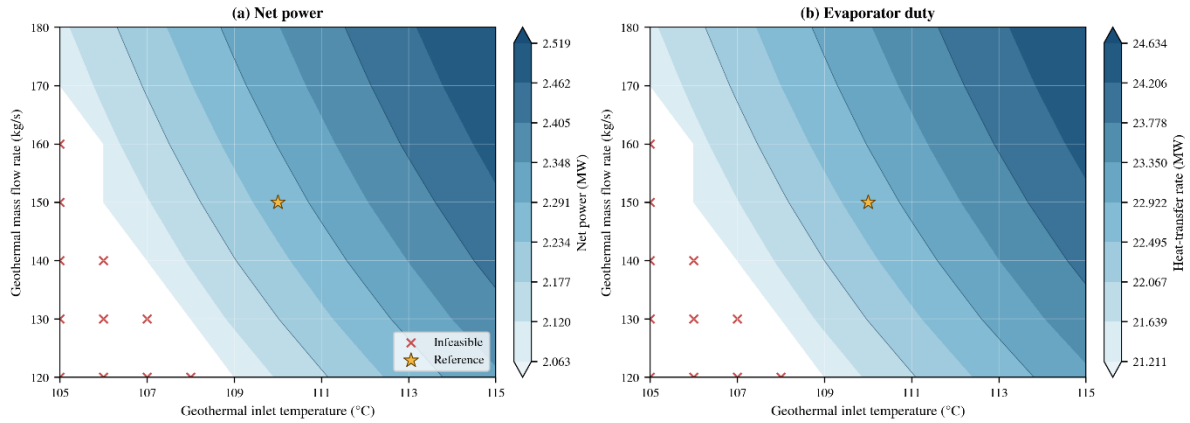
$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU(1-C_r)}}{1 - C_r e^{-NTU(1-C_r)}}, \quad NTU = \frac{UA}{C_{min}}, \quad \dot{Q}_{evap} = \varepsilon \dot{Q}_{max} \quad (4)$$

Uygunluk için türbin girişindeki entalpi doymuş buhar sınırına ulaşmalı, sıcak uç, kaynama başlangıcı ve soğuk uç arasındaki en düşük sıcaklık farkı en az 2 K olmalıdır. Enerji dengesi kapanma hatası en çok %0,01 kabul edilmiştir.

$$h_3 = h_2 + \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{m}_{orc}}, \quad h_6 = h_5 - \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{m}_{geo}}, \quad \Delta T_{pinch} = \min(\Delta T_{hot}, \Delta T_{boil}, \Delta T_{cold}) \quad (5)$$

2.3. İşletme bölgesi ve referans sonuçları

77 noktanın 66'sı uygundur. Düşük sıcaklık ve debide elenen 11 noktada minimum sıcaklık farkı 2 K'nin üzerindedir, ancak R134a türbin girişinde tamamen buharlaşamamıştır. Bu durum 105 °C'de 120–160 kg/s, 106 °C'de 120–140 kg/s, 107 °C'de 120–130 kg/s ve 108 °C'de 120 kg/s için görülür.



Şekil 2. Uygulanabilir çalışma haritaları. (a) Net güç, (b) evaporatör yükü.

Uygun bölgede net güç 2,063–2,519 MW, evaporatör yükü 21,211–24,634 MW aralığındadır. En yüksek güç 115 °C ve 180 kg/s noktasındadır. Referansta evaporatör yükü 22,695 MW,

türbin gücü 2,899 MW ve pompa işi 0,240 MW'tır. Yardımcı tüketim sonrası net güç 2,260 MW, ε = 0,8846 ve minimum sıcaklık farkı 6,567 K bulunmuştur.

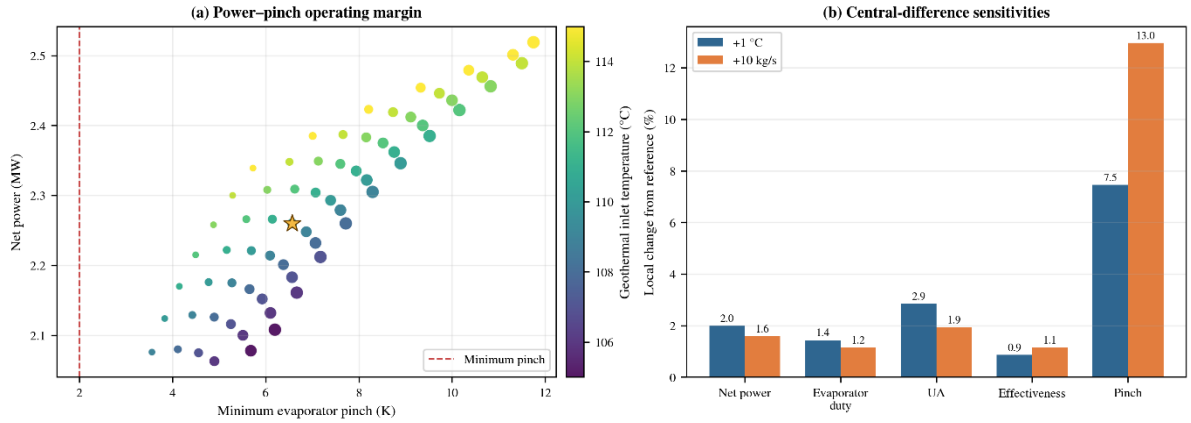
Tablo 2. Afyon referans koşullarında model karşılaştırması

Gösterge	Yılmaz (2020b)	Bu çalışma
Net güç	2,622 MW	2,260 MW
Isıl verim	%10,4	%9,959
Jeotermal çıkış	≈70 °C	74,07 °C
Minimum pinch	≈5 K	6,567 K

Yayımlanan Afyon modeline göre net güç %13,8 düşüktür. Referanstaki 74,07 °C jeotermal çıkış sıcaklığı, sonlu ısı geçişi ve farklı çevrim kabulleriyle birlikte değerlendirilmelidir.

2.4. Yerel duyarlılık ve işletme sınırı

Referans yakınında merkezî fark hesabına göre +1 °C kaynak sıcaklığı net gücü yaklaşık 45 kW (%1,99), +10 kg/s jeotermal debi ise 36 kW (%1,59) artırır. Aynı adımlarda minimum sıcaklık farkı sırasıyla %7,45 ve %12,96 artar (Şekil 3).



Şekil 3. (a) Net güç ve minimum sıcaklık farkı ilişkisi, (b) referans noktasında yerel duyarlılık.

Isı aktarım sınırının güç üzerindeki etkisi, tasarım dışı deney ve pinch çalışmalarıyla aynı yöndedir (Fu et al., 2014; Sun et al., 2018). İşletme haritası, nominal güçle birlikte uygunluk marjının da değerlendirilmesini sağlar (Serafino et al., 2020). Evaporatörde jeotermal akışkanın ekserji azalmasına göre referans ekserji verimi %44,88'dir. Yayımlanmış verimlerle kıyas için ortak sistem sınırı ve payda gerekir.

3. SONUÇ

Sabit donanım altında tam buhar koşulu düşük kaynak sıcaklığı ve debisinde işletme sınırını belirlemiştir. 110 °C ve 150 kg/s referansında 2,260 MW net güç ve %9,959 net ısıl verim hesaplanmıştır. Saha doğrulaması için UA ölçeklemesi eşzamanlı sıcaklık ve debi verileriyle kalibre edilmeli, türbin-pompa performans haritaları ile değişken kondenser koşulları modele eklenmelidir.

KAYNAKÇA

Altun, A. F., & Kılıç, M. (2020). Thermodynamic performance evaluation of a geothermal ORC power plant. *Renewable Energy, 148*, 261–274. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.034

Dickes, R., Dumont, O., Daccord, R., Quoilin, S., & Lemort, V. (2017). Modelling of organic Rankine cycle power systems in off-design conditions: An experimentally-validated comparative study. *Energy, 123*, 710–727. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.130

DiPippo, R. (2007). Ideal thermal efficiency for geothermal binary plants. *Geothermics, 36*(3), 276–285. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2007.03.002

Fu, B. R., Hsu, S. W., Lee, Y. R., Hsieh, J. C., Chang, C. M., & Liu, C. H. (2014). Effect of off-design heat source temperature on heat transfer characteristics and system performance of a 250-kW organic Rankine cycle system. *Applied Thermal Engineering, 70*(1), 7–12. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.04.065

Hu, D., Li, S., Zheng, Y., Wang, J., & Dai, Y. (2015). Preliminary design and off-design performance analysis of an organic Rankine cycle for geothermal sources. *Energy Conversion and Management, 96*, 175–187. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.078

Hu, D., Zheng, Y., Wu, Y., Li, S., & Dai, Y. (2015). Off-design performance comparison of an organic Rankine cycle under different control strategies. *Applied Energy, 156*, 268–279. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.029

Kanoglu, M., & Bolatturk, A. (2008). Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy. *Renewable Energy, 33*(11), 2366–2374. https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.017

Manente, G., Toffolo, A., Lazzaretto, A., & Paci, M. (2013). An organic Rankine cycle off-design model for the search of the optimal control strategy. *Energy, 58*, 97–106. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.035

Quoilin, S., Van Den Broek, M., Declaye, S., Dewallef, P., & Lemort, V. (2013). Techno-economic survey of organic Rankine cycle (ORC) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22*, 168–186. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028

Serafino, A., Obert, B., Vergé, L., & Cinnella, P. (2020). Robust optimization of an organic Rankine cycle for geothermal application. *Renewable Energy, 161*, 1120–1129. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.052

Sun, J., Liu, Q., & Duan, Y. (2018). Effects of evaporator pinch point temperature difference on thermo-economic performance of geothermal organic Rankine cycle systems. *Geothermics, 75*, 249–258. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.06.001

Yari, M. (2010). Exergetic analysis of various types of geothermal power plants. *Renewable Energy, 35*(1), 112–121. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.023

Yılmaz, C. (2020a). Improving performance and thermoeconomic optimization of an existing binary geothermal power plant: A case study. *Journal of Thermal Science and Technology, 40*(1), 37–51. https://dergipark.org.tr/en/pub/isibted/article/781593

Yılmaz, C. (2020b). Performance evaluation of Afyon geothermal power plant with low grade energy sources. *Konya Journal of Engineering Sciences, 8*(3), 448–465. https://doi.org/10.36306/konjes.627174

AFYON JEOTERMAL ORC SANTRALİNDE GÜNLÜK YÜK DENGELEME İÇİN DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNİN TEKNİK-EKONOMİK KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer Faruk GÜLER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID 0000-0002-3344-341X

ÖZET
Bu çalışmada, Afyon Ömer–Gecek sahasını temsil eden basit bir R134a organik Rankine çevriminin (ORC) günlük elektrik fazlasını depolamak için dört teknoloji karşılaştırılmıştır: lityum-demir-fosfat (LFP) batarya, vanadyum redoks akış bataryası (VRFB), sodyum-kükürt (NaS) bataryası ve PEM elektrolizör–hidrojen tankı–PEM yakıt hücresi sistemi. Bütün seçeneklerde aynı güç dengesi ve ekonomik hesap sınırları kullanılmıştır. Sabit donanımlı ε–NTU ORC modeli, 110 °C ve 150 kg/s referans koşullarında 2,260 MW net güç üretmektedir. Dört megavatlık Türkiye yük profili 2,2 MW nominal düzeye ölçeklenmiş ve 24 saatlik periyodik işletme uygulanmıştır. Günlük ORC üretimi 54,240 MWh, yük 52,799 MWh, enerji fazlası 3,070 MWh ve enerji açığı 1,630 MWh bulunmuştur. Açığın tamamını karşılamak için gereken nominal LFP, VRFB ve NaS kapasiteleri sırasıyla 1,964, 1,983 ve 2,352 MWh'tir. PEM-hidrojen sistemi, 64,46 kg H_2 depolayarak açığın %90,45'ini karşılamıştır. Ön değerlendirmede kurulu maliyetler LFP, VRFB, NaS ve hidrojen için sırasıyla 0,744, 0,885, 1,464 ve 1,150 milyon ABD doları; seviyelendirilmiş depolama maliyetleri ise 0,228, 0,239, 0,367 ve 0,327 ABD doları/kWh hesaplanmıştır. Ekonomik hesaplarda reel iskonto oranı %10 alınmış, temsili günün yılda 365 kez tekrarlandığı kabul edilmiştir. Boyutlandırmada güç, kapasite ve dönüşüm kayıpları hesaba katılmıştır. Literatürden ölçeklenen maliyetler ön fizibilite düzeyindedir. İncelenen günlük çevrimde LFP en düşük maliyetli seçenektir. VRFB, uzun ömrü ve güvenlik özellikleriyle yakın bir alternatiftir. Hidrojenin ekonomik katkısı ise uzun süreli depolama ve ürün satışı senaryolarında ayrıca değerlendirilmelidir.
Anahtar kelimeler: jeotermal enerji, organik Rankine çevrimi, enerji depolama, LFP, vanadyum redoks batarya, hidrojen, LCOS.

TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF STORAGE TECHNOLOGIES FOR DAILY LOAD BALANCING IN AN AFYON GEOTHERMAL ORC PLANT

ABSTRACT
Four storage technologies are compared for daily load balancing in a model of the Afyon Ömer–Gecek geothermal organic Rankine cycle (ORC). The options are lithium iron phosphate (LFP), vanadium redox flow (VRFB), sodium–sulfur (NaS) and a PEM electrolyzer, hydrogen tank and PEM fuel cell. All scenarios use the same 2.260 MW ORC output at 110 °C and 150 kg/s and the same load profile scaled to 2.2 MW. The periodic 24-hour simulation gives 54.240 MWh of generation and 52.799 MWh of demand, with 3.070 MWh of surplus and 1.630 MWh of deficit. LFP, VRFB and NaS cover the deficit with nominal capacities of 1.964, 1.983 and 2.352 MWh, respectively. The PEM pathway stores 64.46 kg of hydrogen and returns 1.474 MWh, covering 90.45% of the deficit. Estimated installed costs are 0.744, 0.885, 1.464 and 1.150 million USD for LFP, VRFB, NaS and PEM, respectively. The corresponding levelized costs of storage are 0.228, 0.239, 0.367 and 0.327 USD/kWh. Costs are scaled from published estimates, using a 10% real discount rate and 365 representative days per year. LFP has the

lowest cost for the modeled daily cycle, while VRFB has a similar simple payback period. A multi-day reserve or hydrogen sales would require a separate operating scenario.
Keywords: geothermal energy, organic Rankine cycle, energy storage, LFP, vanadium redox flow battery, hydrogen, LCOS.

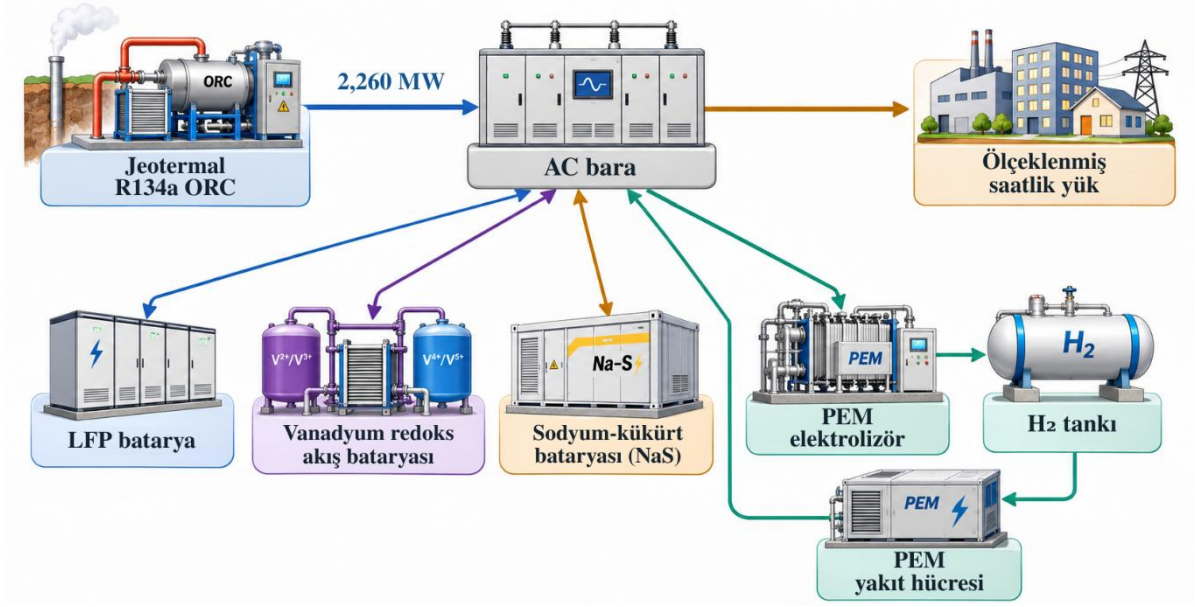
1. GİRİŞ

ORC, düşük ve orta sıcaklıklı ısı kaynaklarından elektrik üretiminde kullanılır (Quoilin et al., 2013). Afyon için yayımlanan R134a çevrimleri, 110 °C ve 150 kg/s kaynak koşullarında megavat ölçeğinde üretim raporlamıştır (Yılmaz, 2020a, 2020b). Bu çalışmada 2,260 MW'lık model çıkışı, dört depolama seçeneği için ortak kaynak olarak alınmıştır.
Depolama seçiminde çevrim verimi, güç kapasitesi ve deşarj süresi birlikte değerlendirilir (Dunn et al., 2011; Luo et al., 2015). Vanadyum akış bataryasında güç ve enerji kapasitesi ayrı boyutlandırılabilir (Weber et al., 2011). Hidrojende enerji kapasitesinin tank üzerinden artırılması çok günlük işletmede avantaj sağlayabilir (Hunter et al., 2021). Bu bildiri, dört yolu aynı günlük dengeleme hizmeti ve aynı ekonomik sınırlar içinde karşılaştırmaktadır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

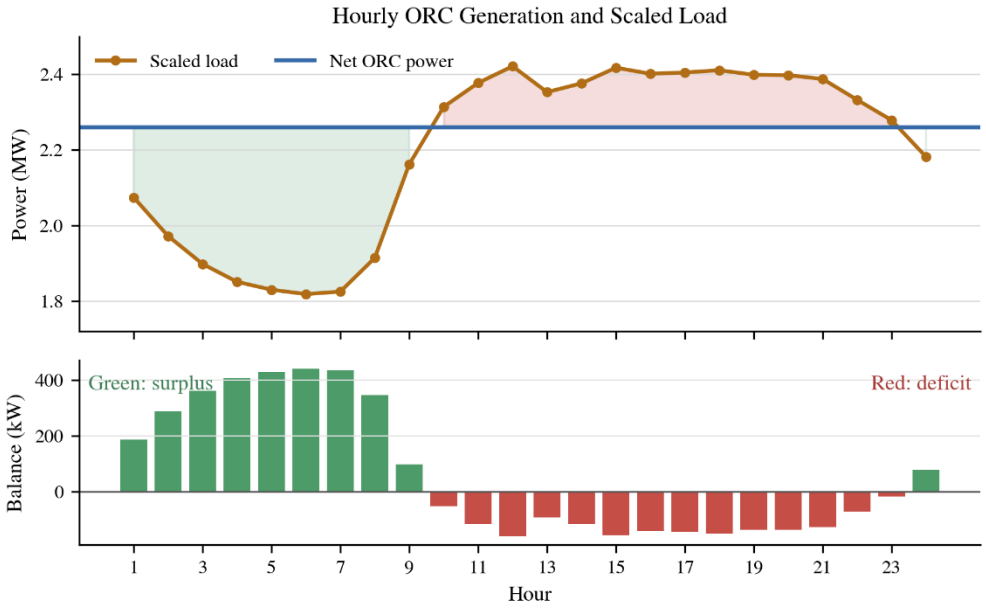
2.1. Ortak sistem sınırı ve saatlik yük

Her senaryoda bir depolama yolu aynı AC baraya bağlanır. Üretim fazlası bataryayı veya PEM elektrolizörünü besler. Açık, batarya ya da yakıt hücresi üzerinden karşılanır (Şekil 1).



Şekil 1. Ortak AC bara ve ayrı ayrı incelenen dört depolama yolu.

4 MW tabanlı örnek Türkiye yük profili 2,2 MW nominal düzeye ölçeklenmiştir. Saatlik fark, sabit 2,260 MW ORC üretimi ile bu temsili yükten hesaplanır (Şekil 2).



Şekil 2. Saatlik ORC üretimi, ölçeklenmiş yük ve güç dengesi.

2.2. Saatlik model ve boyutlandırma

Bir saatlik adımda $P_{bal,t}$, üretim ile yük arasındaki farktır. Pozitif fark şarj fırsatını, negatif fark açığı belirler. E_t kullanılabilir depolanmış enerjidir. Gerçek şarj ve deşarj, güç ile kapasite sınırlarına ve yön verimlerine göre hesaplanır. Gün sonu enerjisi gün başına eşitlenir.

$$P_{bal,t} = P_{ORC} - P_{load,t}$$

$$P_{ch,t} = max(P_{bal,t}, 0); \quad P_{def,t} = max(-P_{bal,t}, 0) \tag{1}$$

$$E_t = min[E_{max}, max(0, E_{t-1} + \eta_{ch} P_{ch,t}\, \Delta t - \frac{P_{dis,t}\, \Delta t}{\eta_{dis}})] \tag{2}$$

Bataryalarda şarj ve deşarj verimleri çevrim veriminin karekköküne eşit alınmış, kapasite günlük açığın tamamını karşılayacak şekilde seçilmiştir. PEM yolu günlük fazlanın tamamını almak üzere boyutlandırılmıştır. Şarj ve tanktan AC baraya dönüş verimleri %70 ve %68,6, elektrikten elektriğe çevrim verimi %48,01'dir. Hidrojenin alt ısıl değeri 33,333 kWh/kg alınmıştır. %48,01 oranı, sıkıştırma ve diğer yardımcı tüketimler eklenmeden hesaplanmıştır.

$$E_{nom} = \frac{E_{use}}{DoD}; \quad E_{use,batt} = \frac{\Sigma P_{def}\, \Delta t}{\eta_{dis}}; \quad m_{H_2} = \frac{E_{use,H_2}}{LHV_{H_2}} \tag{3}$$

Tablo 1. Teknik ve ekonomik kabuller

Özellik	LFP	VRFB	NaS	PEM H_2
Çevrim verimi (RTE)	%85,0	%67,5	%75,0	%48,01
Deşarj derinliği (DoD)	%90	%100	%80	%100
Ömür (yıl)	15	20	15	20
Kurulu maliyet esası	379 USD/kWh	446 USD/kWh	622,6 USD/kWh	EL: 2000; FC: 1500 USD/kW; tank: 402 USD/kg
İşletme ve bakım esası	%2,5 CAPEX/yıl	8 USD/kW-yıl + değişken bakım	8 USD/kW-yıl + değişken bakım	Bileşene özgü

Teknik ve maliyet girdileri literatürden ölçeklenmiştir (Hollas et al., 2024; Hubert et al., 2024; Mongird et al., 2019; Mongird et al., 2020; National Renewable Energy Laboratory, 2024; Viswanathan et al., 2022).

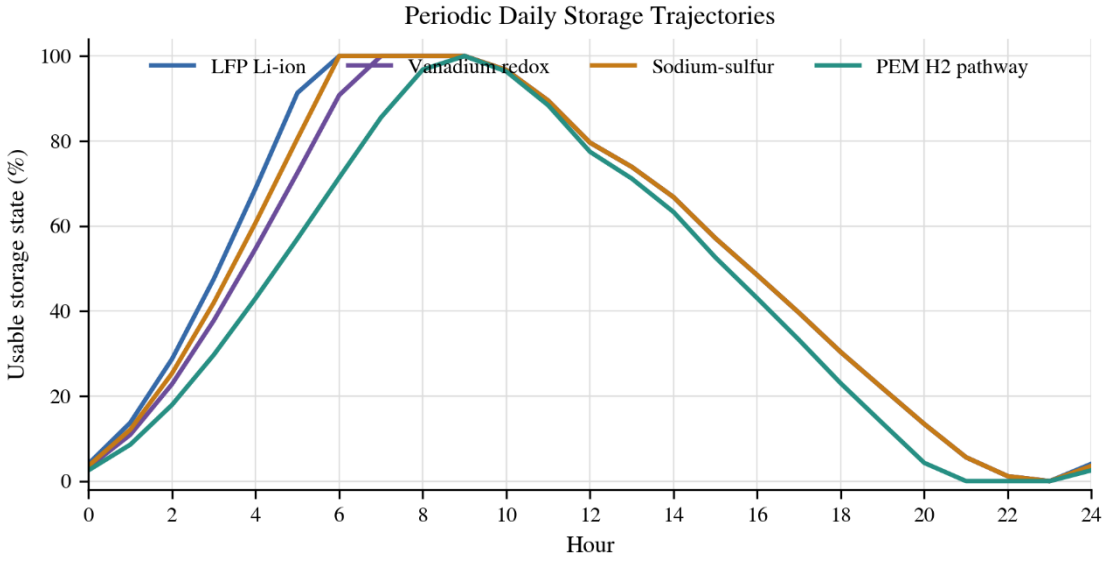
2.3. Teknik sonuçlar

Temsili günde 54,240 MWh üretime karşılık 52,799 MWh talep vardır. Fazla saatleri 3,070 MWh şarj fırsatı, açık saatleri 1,630 MWh deşarj gereksinimi oluşturur. En yüksek fazla 441,15 kW, en yüksek açık 161,10 kW'tır.

Tablo 2. Temsili gün için teknik ve ekonomik sonuçlar

Büyüklük	LFP	VRFB	NaS	PEM H_2
Nominal kapasite	1,964 MWh	1,983 MWh	2,352 MWh	64,46 kg H_2
Şarj / geri verilen enerji (MWh)	1,917 / 1,630	2,414 / 1,630	2,173 / 1,630	3,070 / 1,474
Kısıntı / karşılanmayan enerji (MWh)	1,153 / 0	0,656 / 0	0,897 / 0	0 / 0,156
Açığı karşılama oranı	%100	%100	%100	%90,45
Yatırım (MUSD)	0,744	0,885	1,464	1,150
LCOS (USD/kWh)	0,228	0,239	0,367	0,327
Geri ödeme (yıl)	14,53	14,47	23,04	28,71

LFP, VRFB ve NaS günlük açığın tamamını kapatır. PEM yolunda 3,070 MWh elektrikten yaklaşık 2,149 MWh hidrojen enerjisi ve 64,46 kg H_2 elde edilir. Yakıt hücresinden 1,474 MWh elektrik geri alınır ve 155,56 kWh açık kalır. Tank 9. saatte dolup 21. saatte tükenir (Şekil 3).



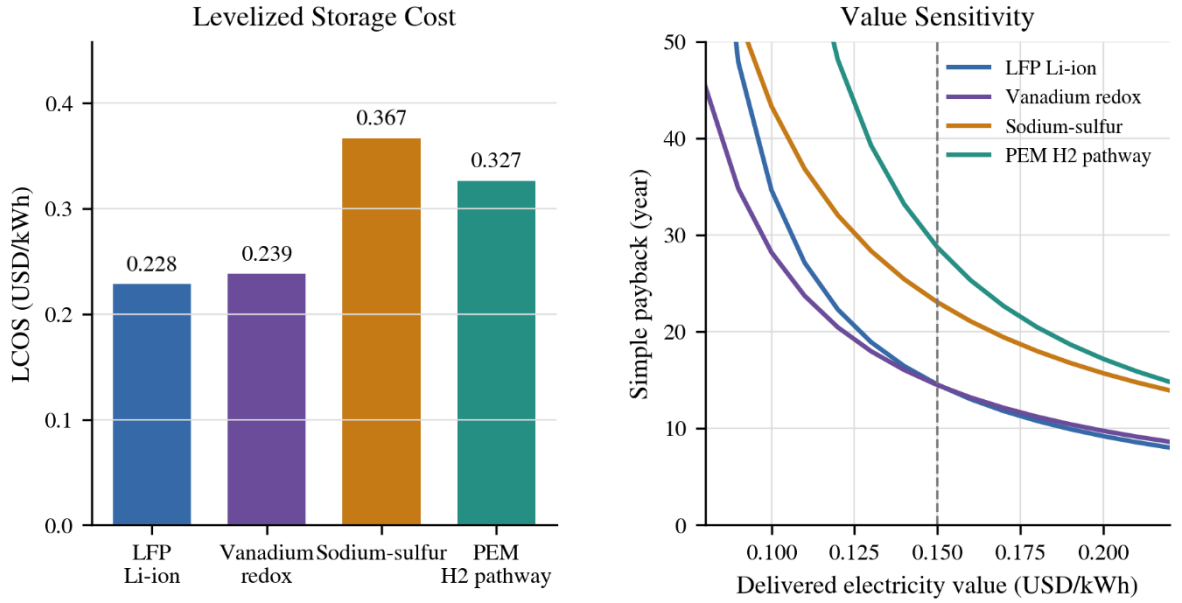
Şekil 3. Kullanılabilir enerjiye göre periyodik günlük depolama durumları.

2.4. Ekonomik karşılaştırma

LCOS, yıllıklaştırılmış yatırım, bakım ve şarj enerjisinin fırsat maliyetinin yıllık depolama çıkışına oranıdır (Schmidt et al., 2019; Viswanathan et al., 2022). Hesapta %10 reel iskonto, yılda 365 temsili gün ve 0,02768 ABD doları/kWh şarj fırsat maliyeti kullanılmıştır. VRFB için 12. yılda yatırımın %30'u düzeyindeki yığın yenilemesi indirgenerek eklenmiştir.

$$LCOS = \frac{CRF \cdot PV(CAPEX) + C_{FOM} + C_{VOM} + c_{ch} E_{ch,y}}{E_{dis,y}} \quad (4)$$

$$PB = \frac{CAPEX}{v_e E_{dis,y} - c_{ch} E_{ch,y} - C_{OM}} \quad (5)$$



Şekil 4. (a) Seviyelendirilmiş depolama maliyeti, (b) elektrik değerine göre basit geri ödeme. LFP ve VRFB için LCOS sırasıyla 0,228 ve 0,239 ABD doları/kWh'tir. Teslim edilen elektriğin değeri 0,15 ABD doları/kWh alındığında basit geri ödeme iki sistem için yaklaşık 14,5 yıldır. PEM-H_2 ve NaS'ın LCOS değerleri 0,327 ve 0,367 ABD doları/kWh'tir (Tablo 2). Maliyetler ölçeklenmiş ön fizibilite girdileridir.

3. SONUÇ

Tek temsili günün tekrarlandığı senaryoda LFP, günlük açığın tamamını en düşük LCOS ile karşılar. VRFB, yaklaşık aynı geri ödeme süresi ve 20 yıllık kabul edilen ömrüyle yakın bir seçenektir. PEM-H_2 yolu açığın %90,45'ini karşılar. Çok günlük rezerv veya hidrojen satışı farklı bir işletme senaryosuyla incelenmelidir. Yıllık saha değerlendirmesinde saatlik yük, değişen ORC üretimi, yardımcı tüketimler ve yerel yatırım maliyetleri birlikte ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, J.-M. (2011). Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science, 334*(6058), 928–935. https://doi.org/10.1126/science.1212741

Hollas, A. M., Tuan, A. C., Viswanathan, V. V., & Ragazzi, I. (2024). *Adoption readiness level assessment of redox flow batteries* (PNNL-36780). Pacific Northwest National Laboratory. https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-36780.pdf

Hubert, M., Peterson, D., Miller, E., Vickers, J., Mow, R., & Howe, C. (2024). *Clean hydrogen production cost scenarios with PEM electrolyzer technology* (DOE Hydrogen Program Record 24005). U.S. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/24005-clean-hydrogen-production-cost-pem-electrolyzer.pdf

Hunter, C. A., Penev, M. M., Reznicek, E. P., Eichman, J., Rustagi, N., & Baldwin, S. F. (2021). Techno-economic analysis of long-duration energy storage and flexible power generation technologies to support high-variable renewable energy grids. *Joule, 5*(8), 2077–2101. https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.06.018

Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy, 137*, 511–536. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081

Mongird, K., Viswanathan, V., Balducci, P., Alam, J., Fotedar, V., Koritarov, V., & Hadjerioua, B. (2019). *Energy storage technology and cost characterization report* (PNNL-28866). Pacific Northwest National Laboratory. https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-28866.pdf

Mongird, K., Viswanathan, V., Alam, J., Vartanian, C., Sprenkle, V., & Baxter, R. (2020). *2020 grid energy storage technology cost and performance assessment* (DOE/PA-0204). U.S. Department of Energy. https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/Final%20-%20ESGC%20Cost%20Performance%20Report%2012-11-2020.pdf

National Renewable Energy Laboratory. (2024). *2024 annual technology baseline: Utility-scale battery storage*. https://atb.nrel.gov/electricity/2024/utility-scale_battery_storage

Quoilin, S., Van Den Broek, M., Declaye, S., Dewallef, P., & Lemort, V. (2013). Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *22*, 168–186. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028

Schmidt, O., Melchior, S., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). Projecting the future levelized cost of electricity storage technologies. *Joule*, *3*(1), 81–100. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008

Viswanathan, V., Mongird, K., Franks, R., Li, X., Sprenkle, V., & Baxter, R. (2022). *2022 grid energy storage technology cost and performance assessment* (PNNL-33283). Pacific Northwest National Laboratory. https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/2022%20Grid%20Energy%20Storage%20Technology%20Cost%20and%20Performance%20Assessment.pdf

Weber, A. Z., Mench, M. M., Meyers, J. P., Ross, P. N., Gostick, J. T., & Liu, Q. (2011). Redox flow batteries: A review. *Journal of Applied Electrochemistry*, *41*, 1137–1164. https://doi.org/10.1007/s10800-011-0348-2

Yılmaz, C. (2020a). Improving performance and thermoeconomic optimization of an existing binary geothermal power plant: A case study. *Journal of Thermal Science and Technology*, *40*(1), 37–51. https://dergipark.org.tr/en/pub/isibted/article/781593

Yılmaz, C. (2020b). Performance evaluation of Afyon geothermal power plant with low grade energy sources. *Konya Journal of Engineering Sciences*, *8*(3), 448–465. https://doi.org/10.36306/konjes.627174

TOZ YUMURTA ÜRETİMİNDE PÜSKÜRTMELİ KURUTUCUDA ISI GERİ KAZANIMININ TEORİK ANALİZİ

Batuhan AYDIN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID 0009-0008-7661-2157
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜLER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID 0000-0002-3344-341X

ÖZET
Toz yumurta üretiminde püskürtmeli kurutucuya verilen taze havanın ısıtılması önemli bir enerji girdisidir. Bu çalışmada kurutucudan çıkan sıcak ve nemli havanın ısısını bir hava–hava ısı değiştiricisiyle taze havaya aktarma seçeneği incelenmiştir. Endüstriyel hat için kararlı hâlde kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Referans hesapta saatte 1.000 kg sıvı bütün yumurta, yaş baza göre %76 besleme nemi ve %4 hedef toz ürün nemi kabul edilmiştir. Kurutma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 180 ve 80 °C, ortam havası sıcaklığı ise 25 °C alınmıştır. Bu koşullarda toz ürün debisi 250 kg/saat, buharlaşan su miktarı 750 kg/saat ve gerekli kuru hava debisi yaklaşık 20.560 kg/saat olarak hesaplanmıştır. Isı geri kazanımı bulunmayan durumda hava ısıtma yükü 906,7 kW'tır. Etkinliği 0,50 olan dolaylı ısı değiştiricisi 160,9 kW duyulur ısı geri kazanarak taze havayı 52,5 °C'ye çıkarmaktadır. Her iki hava tarafında 200 Pa ek basınç kaybı kabulüyle fanların elektrik ihtiyacı 3,4 kW artmaktadır. Yakıt tüketimi %17,7, ek fan dâhil nihai enerji tüketimi %16,7 azalır. Özgül tüketim 1,403'ten 1,169 kWh/kg buharlaşan suya düşer. Etkinlik 0,30 ile 0,60 arasında değiştirildiğinde nihai enerji azalması %9,9 ile %20,1 arasında hesaplanmıştır. Bulgular seçilen referans koşullara ait teorik tahminlerdir. Saha doğrulamasında eşzamanlı hava, ürün, yakıt ve elektrik ölçümlerinin yanı sıra ısı değiştiricisindeki yoğuşma ve toz birikimi ile ürün kalitesi birlikte incelenmelidir.
Anahtar kelimeler: Püskürtmeli kurutma, toz yumurta, egzoz ısısı, ısı geri kazanımı, özgül enerji tüketimi.

THEORETICAL ANALYSIS OF HEAT RECOVERY IN A SPRAY DRYER FOR EGG POWDER PRODUCTION

ABSTRACT
This study estimates sensible heat recovery from the humid exhaust of a spray dryer for egg powder production. A steady-state mass and energy balance represents the drying, powder separation and exhaust stages. The reference case assumes 1,000 kg/h of liquid whole egg, 76% feed moisture and 4% target powder moisture, both on a wet basis. Drying air enters at 180 °C and leaves at 80 °C, with fresh air supplied at 25 °C. The calculated powder production, water evaporation and dry air flow are 250, 750 and approximately 20,560 kg/h, respectively. Without heat recovery, the air heating duty is 906.7 kW. An indirect air-to-air exchanger with an effectiveness of 0.50 recovers 160.9 kW and preheats fresh air to 52.5 °C. A pressure drop of 200 Pa on each air side adds 3.4 kW to fan power. Fuel use decreases by 17.7% and total final energy use by 16.7%. Specific energy consumption decreases from 1.403 to 1.169 kWh per kilogram of evaporated water. At effectiveness values between 0.30 and 0.60, calculated final

energy savings range from 9.9% to 20.1%. Plant validation requires simultaneous process and energy measurements, alongside checks for condensation, powder deposition and product quality.
Keywords: Spray drying, egg powder, exhaust heat, heat recovery, specific energy onsumption.

1. GİRİŞ

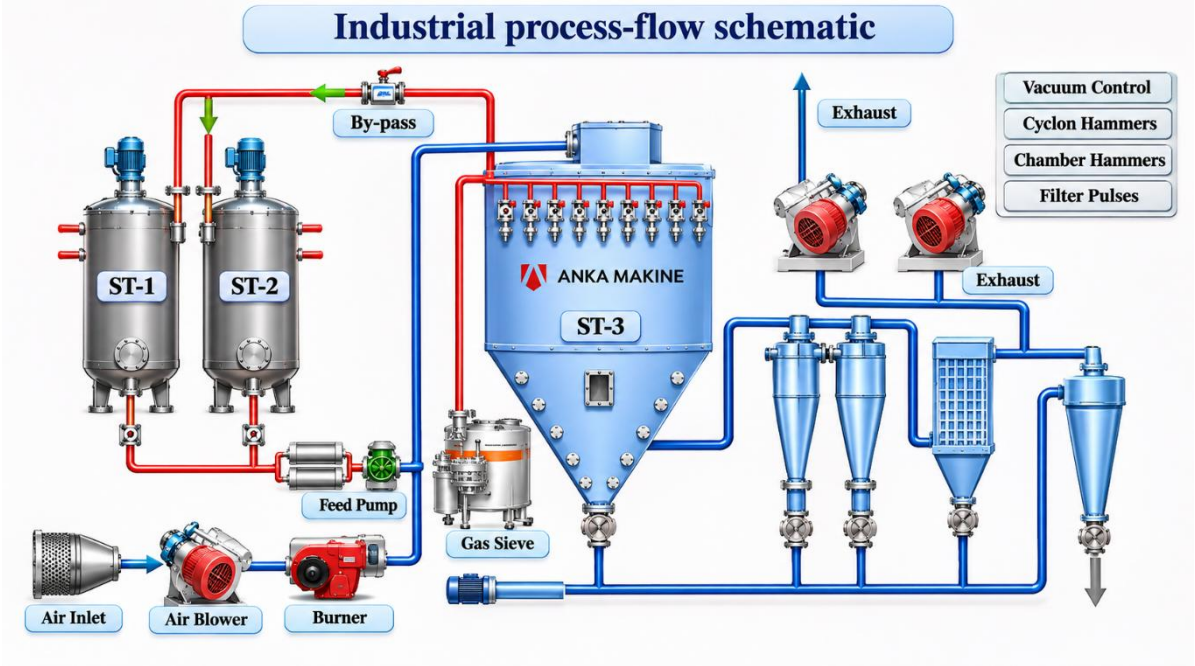
Püskürtmeli kurutmada sıcak hava, sıvı yumurta damlacıklarından suyu uzaklaştırır. Giriş ve çıkış sıcaklığı ile atomizasyon koşulları ürünün nemini ve işlevsel özelliklerini etkiler (B. Koç et al., 2024; M. Koç et al., 2011). Enerji karşılaştırmasında üretim ve ürün hedeflerinin eşit tutulması bu nedenle önemlidir (Abreha et al., 2021; Ayadi et al., 2008).

Endüstriyel kurutucularda özgül tüketim, uzaklaştırılan su başına yaklaşık 3–20 GJ/ton aralığında raporlanmıştır (Baker & McKenzie, 2005). Egzozdan taze havaya ısı aktarımı, deneysel çalışmalar ve proses modelleriyle incelenmiştir (Donhowe et al., 1990; Golman & Julklang, 2014; Julklang & Golman, 2015). Bu çalışmada toz yumurta hattının geri kazanımsız durumu, dolaylı eşanjör ve ek fan tüketimini içeren senaryolarla karşılaştırılmıştır

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

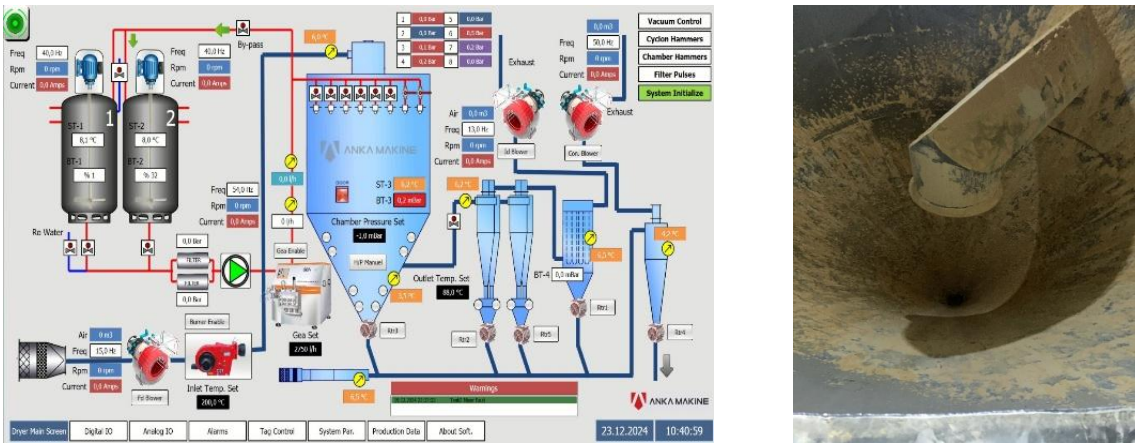
2.1. Endüstriyel hat ve sistem sınırı

Sıvı yumurta, ST-1 ve ST-2 tanklarından pompalanarak ST-3 kurutma odasında püskürtülür. Fanın sağladığı hava brülörle ısıtılır. Siklon ve filtre toz ürünü ayırır, sıcak ve nemli egzoz ise geri kazanım için ısı kaynağıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Endüstriyel toz yumurta üretim hattının temsili akış şeması.

Hesap sınırı ısıtıcıyı, kurutma odasını, ayırma ekipmanını ve elektrikli yardımcıları kapsar. Şekil 2'deki kontrol ekranı ve iç yüzeydeki toz birikimi, saha izlemesinde dikkate alınacak noktaları gösterir.

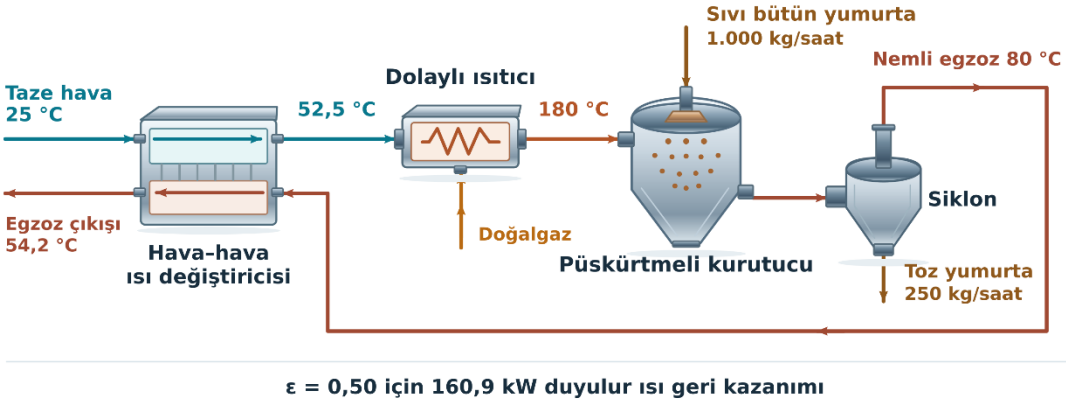


(a) (b)

Şekil 2. Operatör kontrol ekranı (a) ve kurutma ekipmanında toz birikimi (b).

2.2. Referans koşullar ve ısı geri kazanımı

Referans senaryoda taze hava dolaylı ısıtıcıyla 25 °C'den 180 °C'ye çıkarılır. Geri kazanımlı düzende egzoz, ısıtıcı önündeki eşanjörde taze havaya duyulur ısı verir (Şekil 3). Akımlar ayrı kanallardan geçer. Kararlı hâl hesabında kuru maddenin tamamının üründe kaldığı, hava kaçağı ve yoğuşmanın ihmal edilebildiği kabul edilmiştir.



Şekil 3. Ana senaryoda egzoz ısısıyla taze havanın ön ısıtılması (ε = 0,50).

Tablo 1. Referans koşullar ve eşanjör girdileri

Büyüklük	**Değer veya kabul**
Sıvı bütün yumurta ve besleme nemi	1.000 kg/saat, yaş bazda %76 su
Toz ürün nemi	Yaş bazda %4
Besleme ve toz ürün sıcaklığı	20 ve 60 °C
Kurutma havası giriş ve çıkışı	180 ve 80 °C
Ortam havası ve atmosfer basıncı	25 °C, %50 bağıl nem, 101,325 kPa
Kuru madde ve su özgül ısıları	1,70 ve 4,18 kJ/(kg·K)
Kurutucu kaybı ve temel elektrik gücü	Referans hava ısıtma yükünün %5'i, 45 kW
Isıtıcı ve fan-motor verimleri	0,90 ve 0,65
Eşanjör etkinliği ve ek basınç kaybı	0,30 / 0,50 / 0,60 ve her hava tarafında 200 Pa
Doğal gaz alt ısıl değeri	35,8 MJ/Nm³

Kurutma sıcaklıkları, bütün yumurta için bildirilen deney aralığından seçilmiştir (M. Koç et al., 2011). Besleme debisi, hava giriş ve çıkış sıcaklıkları ile hedef ürün nemi bütün senaryolarda ortaktır.

2.3. Kütle ve enerji dengesi

F sıvı besleme, P toz ürün, E buharlaşan su ve M kuru hava debisidir (kg/saat). x_f ve x_p besleme ile ürünün yaş bazda su oranlarıdır. h nemli hava entalpisini (kJ/kg kuru hava), ω nem oranını gösterir (ASHRAE, 2017). Alt indisler 0, i ve o sırasıyla ortam, kurutucu girişi ve çıkışıdır.

$$P = \frac{F(1-x_f)}{1-x_p}, \quad E = F - P \tag{1}$$

$$h(T,\omega) = 1{,}006T + \omega(2501 + 1{,}86T) \tag{2}$$

$$\omega_o = \omega_0 + \frac{E}{M} \tag{3}$$

H_f ve H_p, besleme ve ürünün 0 °C'ye göre duyulur entalpi akılarıdır (71.696 ve 26.988 kJ/saat). Kuru hava debisi Denklem (3)–(5) birlikte çözülerek bulunur. Çevreye ısı kaybı, referans hava ısıtma yükünün %5'i olarak hesaplanır ve senaryolarda sabit tutulur.

$$M\,h(T_i,\omega_0) + H_f = M\,h(T_o,\omega_o) + H_p + 3600Q_{kayıp} \tag{4}$$

$$Q_{h0} = \frac{M(1{,}006 + 1{,}86\omega_0)(T_i - T_0)}{3600}, \quad Q_{kayıp} = 0{,}05Q_{h0} \tag{5}$$

Isıl kapasite debisi her akım için M(1,006 + 1,86ω)/3600 (kW/K) olarak hesaplanır. Eşanjörde C_{min} bu iki değerden küçük olanıdır. η_h ısıtıcı verimini, AID doğal gazın alt ısıl değerini gösterir. G, 0 °C ve 101,325 kPa referansında Nm³/saat olarak hesaplanır.

$$Q_{geri} = \varepsilon\, C_{min}(T_o - T_0) \tag{6}$$

$$P_{gaz} = \frac{Q_{h0} - Q_{geri}}{\eta_h}, \quad G = \frac{3{,}6P_{gaz}}{AID} \tag{7}$$

Ek fan gücü, iki taraftaki basınç kaybı Δp ve hacimsel debi V ile fan-motor verimi η_{fm} üzerinden bulunur. Özgül enerji tüketimi (SEC), yakıt ve elektrik güçleri toplamının buharlaşan su debisine oranıdır (kWh/kg su).

$$\Delta P_{el} = \frac{\Delta p_c V_c + \Delta p_h V_h}{1000\eta_{fm}} \tag{8}$$

$$SEC = \frac{P_{gaz} + P_{el}}{E} \tag{9}$$

2.4. Enerji tüketimi ve etkinlik duyarlılığı

Saatte 1.000 kg besleme 240 kg kuru madde içerir. %4 ürün neminde 250 kg/saat toz üretilir ve 750 kg/saat su buharlaşır. Ortam ve egzoz nem oranları sırasıyla 0,00988 ve 0,0464 kg su/kg kuru havadır. Kuru hava debisi yaklaşık 20.560 kg/saat, çevreye ısı kaybı 45,3 kW'tır.

Tablo 2. Geri kazanımsız durum ve ana senaryo

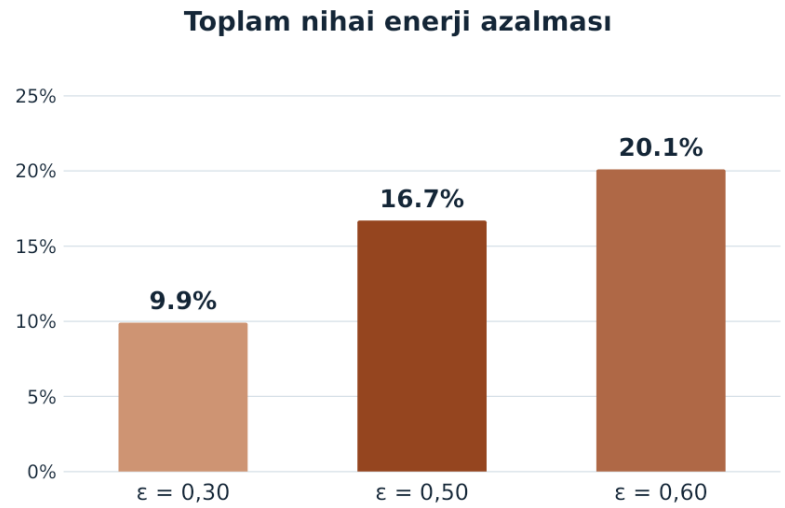
Gösterge	Geri kazanımsız	Etkinlik 0,50
Isıtıcı girişindeki taze hava sıcaklığı (°C)	25,0	52,5
Geri kazanılan duyulur ısı (kW)	0	160,9
Harici hava ısıtma yükü (kW)	906,7	745,8
Yakıt enerji gücü (kW)	1.007,4	828,7
Doğal gaz debisi (Nm³/saat)	101,3	83,3
Elektrik gücü (kW)	45,0	48,4
Toplam nihai enerji gücü (kW)	1.052,4	877,1
SEC (kWh/kg buharlaşan su)	1,403	1,169
Yakıt tüketimindeki azalma (%)	–	17,7
Toplam nihai enerji azalması (%)	–	16,7

Ana senaryoda geri kazanılan 160,9 kW duyulur ısı taze havayı 52,5 °C'ye çıkarır. Soğuk ve sıcak tarafta 4,90 ve 6,14 m³/s debilerle hesaplanan ek fan gücü 3,4 kW'tır. Yakıt tüketimi %17,7, nihai enerji tüketimi %16,7 azalır. Yıllık 6.000 eşdeğer çalışma saati kabulü, yaklaşık 108.000 Nm³ doğal gaz ve 1.052 MWh nihai enerji tasarrufuna karşılık gelir.

Tablo 3. Eşanjör etkinliğine göre hesaplanan performans

Etkinlik	Geri kazanılan ısı (kW)	Ön ısıtma çıkışı (°C)	SEC (kWh/kg su)	Nihai enerji azalması (%)
0,30	96,5	41,5	1,265	9,9
0,50	160,9	52,5	1,169	16,7
0,60	193,0	58,0	1,122	20,1

Etkinlik 0,30–0,60 aralığında değiştiğinde, her iki hava tarafında 200 Pa ek basınç kaybı altında nihai enerji azalması %9,9–%20,1 aralığındadır (Şekil 4).



Şekil 4. Isı değiştiricisi etkinliğine göre hesaplanan nihai enerji azalması.

2.5. Saha doğrulaması

Ana senaryoda egzoz eşanjörden 54,2 °C'de çıkar ve çiğ noktası 39,1 °C'dir. Taze hava girişine yakın soğuk yüzeylerde yerel yoğuşma gelişebilir. Egzoz tozunun yüzeye tutunması, ısı geçişini ve fan yükünü etkiler (Atkins et al., 2011; Walmsley et al., 2015).

Kararlı üretim dönemlerinde hava sıcaklığı, nem, debi, ürün miktarı, yakıt ve elektrik eşzamanlı ölçülmelidir. Eşanjör yüzey sıcaklığı ve basınç farkı, yoğuşma ve kirlenmeyi değerlendirmek için izlenmelidir. Ürün nemi ve çözünürlük de benzer üretim koşullarındaki numunelerle karşılaştırılmalıdır.

3. SONUÇ

Etkinliği 0,50 olan eşanjör için teorik nihai enerji tasarrufu %16,7 ve özgül tüketim 1,169 kWh/kg buharlaşan su olarak hesaplanmıştır. Uygulama değerlendirmesi, aynı üretim koşullarında ölçülen enerji tüketimiyle ürün kalitesi, yoğuşma ve temizlenebilirliğin birlikte incelenmesine dayanmalıdır.

KAYNAKÇA

Abreha, E., Getachew, P., Laillou, A., Chitekwe, S., & Baye, K. (2021). Physico-chemical and functionality of air and spray dried egg powder: Implications to improving diets. *International Journal of Food Properties, 24*(1), 152–162. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1867569

ASHRAE. (2017). Psychrometrics. In *2017 ASHRAE handbook—Fundamentals* (SI ed., Chap. 1). https://handbook.ashrae.org/Handbooks/F17/SI/f17_ch01/f17_ch01_si.aspx

Atkins, M. J., Walmsley, M. R. W., & Neale, J. R. (2011). Integrating heat recovery from milk powder spray dryer exhausts in the dairy industry. *Applied Thermal Engineering, 31*(13), 2101–2106. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.006

Ayadi, M. A., Khemakhem, M., Belgith, H., & Attia, H. (2008). Effect of moderate spray drying conditions on functionality of dried egg white and whole egg. *Journal of Food Science, 73*(6), E281–E287. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00811.x

Baker, C. G. J., & McKenzie, K. A. (2005). Energy consumption of industrial spray dryers. *Drying Technology, 23*(1–2), 365–386. https://doi.org/10.1081/DRT-200047665

Donhowe, D. P., Amundson, C. H., & Hill, C. G., Jr. (1990). Performance of heat recovery system for a spray dryer. *Journal of Food Process Engineering, 12*(1), 13–32. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1990.tb00038.x

Golman, B., & Julklang, W. (2014). Simulation of exhaust gas heat recovery from a spray dryer. *Applied Thermal Engineering, 73*(1), 899–913. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.08.045

Julklang, W., & Golman, B. (2015). Effect of process parameters on energy performance of spray drying with exhaust air heat recovery for production of high value particles. *Applied Energy, 151*, 285–295. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.069

Koç, B., Koç, M., & Kaymak Ertekin, F. (2024). Spray drying of egg components. In S. M. Jafari & K. Samborska (Eds.), *Spray drying for the food industry* (pp. 223–241). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819799-8.00007-7

Koç, M., Koç, B., Susyal, G., Sakin Yilmazer, M., Kaymak Ertekin, F., & Bağdatlıoğlu, N. (2011). Functional and physicochemical properties of whole egg powder: Effect of spray drying conditions. *Journal of Food Science and Technology, 48*(2), 141–149. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0159-1

Walmsley, T. G., Walmsley, M. R. W., Atkins, M. J., Neale, J. R., & Tarighaleslami, A. H. (2015). Thermo-economic optimisation of industrial milk spray dryer exhaust to inlet air heat recovery. *Energy, 90*, 95–104. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.102

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BAZI MAKROMANTARLARIN AFİTLERLE MÜCADELEDE KULLANIM POTANSİYELİ

Dr. Öğr. Üyesi Gülay OLCABEY ERGİN
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Zübeyde Hanım Sağlık Hizmetleri M.Y.O., Niğde, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2521-2312
Öğr. Gör. Dr. Şükrü CANPOLAT
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Niğde, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8223-7260

ÖZET
Makromantarlar, içerdikleri çeşitli biyoaktif bileşikler nedeniyle sürdürülebilir tarım ve biyolojik zararlı yönetimi açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Peptitler, polisakkaritler, yağ asitleri, fenolik bileşikler ve terpenoidler gibi farklı metabolitleri içeren makromantarların antimikrobiyal, antioksidan ve insektisidal aktiviteleri çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Tarımsal üretimde önemli ekonomik kayıplara neden olan afitler (Aphididae), bitki özsuyuyla beslenmeleri, bitki gelişimini olumsuz etkilemeleri ve viral hastalıkların taşınmasındaki rolleri nedeniyle mücadele edilmesi gereken önemli zararlılar arasında yer almaktadır. Afitlerle mücadelede yaygın olarak kullanılan kimyasal insektisitlerin çevresel etkileri ve direnç gelişimi, alternatif mücadele yöntemlerine yönelik araştırmaları artırmıştır. Bu çalışmada, makromantarlardan elde edilen ekstraktların ve biyoaktif bileşiklerin afitlerle mücadelede kullanım potansiyelinin mevcut literatür doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Özellikle *Pleurotus* türleri başta olmak üzere makromantarların insektisidal özellikleri, biyoaktif metabolitleri ve olası etki mekanizmaları ele alınmıştır. Literatürde bazı makromantar ekstraktlarının afitler üzerinde toksik etkiler gösterebildiği bildirilmekle birlikte, bu alandaki araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Makromantar kaynaklı doğal bileşiklerin afitlerle mücadelede alternatif biyopestisitlerin geliştirilmesi açısından potansiyel taşıdığı, ancak etkinliklerinin, etki mekanizmalarının ve tarla koşullarındaki uygulanabilirliklerinin daha kapsamlı araştırılması gerektiği değerlendirilmektedir.
Anahtar kelimeler: Makromantarlar, Afitler, Biyopestisitler, İnsektisidal aktivite, *Pleurotus ostreatus*

POTENTIAL USE OF SOME MACROFUNGI IN APHID CONTROL

ABSTRACT
Macrofungi are gaining increasing importance in sustainable agriculture and biological pest management due to their diverse bioactive compounds. The antimicrobial, antioxidant, and insecticidal activities of macrofungi containing various metabolites, such as peptides, polysaccharides, fatty acids, phenolic compounds, and terpenoids, have been investigated in several studies. Aphids (Aphididae), which cause significant economic losses in agricultural production, are among the major pests requiring control due to their feeding on plant sap, adverse effects on plant growth, and role in the transmission of plant viruses. The environmental impacts of chemical insecticides commonly used in aphid control and the development of insecticide resistance have increased research into alternative control methods. This review

aims to evaluate the potential use of extracts and bioactive compounds derived from macrofungi in aphid control based on the available literature. In particular, the insecticidal properties, bioactive metabolites, and possible mechanisms of action of macrofungi, especially Pleurotus species, are discussed. Although some macrofungal extracts have been reported to exhibit toxic effects against aphids, research in this field remains limited. It is suggested that natural compounds derived from macrofungi hold promise for the development of alternative biopesticides against aphids. However, further comprehensive studies are needed to investigate their efficacy, mechanisms of action, and applicability under field conditions.
Keywords: Macrofungi, Aphids, Biopesticides, Insecticidal activity, *Pleurotus ostreatus*

1. Giriş

Afitler (Hemiptera: Aphidoidea), tarımsal üretimde önemli ekonomik kayıplara neden olan başlıca zararlı böcek gruplarından biridir. Bitki özsuyuyla beslenen bu zararlılar, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyerek verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca, çeşitli bitki virüslerinin taşınmasında vektör olarak görev yapmaları nedeniyle tarımsal üretim açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle şeker pancarı, patates, buğday ve şeker kamışı gibi ekonomik değeri yüksek ürünlerde afitlerin neden olduğu doğrudan ve dolaylı zararlar dikkat çekmektedir (Dedryver vd., 2010; Francis vd., 2022). Afitlerle mücadelede sentetik insektisitler yaygın olarak kullanılmakta olup neonikotinoid grubu bileşiklerden bu amaçla yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kimyasalların yoğun ve tekrarlanan kullanımı, afit popülasyonlarında direnç gelişimine, toprak ve diğer çevresel ortamların kirlenmesine ve hedef dışı organizmaların olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. Özellikle tozlayıcı böcekler üzerindeki olumsuz etkiler, kimyasal mücadele yöntemlerinin sürdürülebilirliği konusunda endişeleri artırmıştır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği tarafından 2018 yılında klotianidin, imidakloprid ve tiyametoksam gibi bazı neonikotinoidlerin açık alan kullanımlarına önemli kısıtlamalar getirilmiştir (Elbert vd., 2008; Bass vd., 2014; EFSA, 2018).

Kimyasal mücadelede karşılaşılan bu sorunlar, afit popülasyonlarının kontrol altına alınmasında çevre dostu, sürdürülebilir ve alternatif mücadele yöntemlerine yönelik araştırmaların önemini artırmaktadır. Özellikle doğal kaynaklı biyoaktif bileşiklerin zararlı yönetiminde değerlendirilmesi, sentetik insektisitlere olan bağımlılığın azaltılması açısından umut vadeden bir yaklaşım olarak görülmektedir (Jactel vd., 2019; Francis vd., 2022).

Makromantarlar, içerdikleri çeşitli biyoaktif metabolitler nedeniyle tarımsal zararlılarla mücadelede alternatif biyopestisit kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Peptitler, proteinler, polisakkaritler, yağ asitleri, fenolik bileşikler ve terpenoidler gibi farklı kimyasal gruplara ait bileşenlerin, makromantarların biyolojik aktivitelerinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir. Özellikle bazı yenilebilir makromantar türlerinden elde edilen ekstraktların ve biyoaktif bileşiklerin insektisidal özellikler göstermesi, bu organizmaların sürdürülebilir zararlı yönetiminde değerlendirilmesine yönelik ilgiyi artırmıştır (Manta vd., 2025). Bununla birlikte, farklı böcek gruplarında belirlenen biyolojik etkilerin afitler için de geçerli olup olmadığı henüz yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Bu nedenle makromantarların afit kontrolündeki olası kullanım alanlarının, mevcut deneysel veriler ve bu verilerin sınırlılıkları dikkate alınarak incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bazı makromantar türlerinin insektisidal özellikleri ve biyoaktif bileşikleri literatür doğrultusunda ele alınmış, afitlerle mücadelede kullanım potansiyellerinin ve bu alandaki araştırma gereksinimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Makromantarların Biyoaktif Bileşikleri ve İnsektisidal Özellikleri

Mantarlar, doğada geniş bir dağılım gösteren, klorofil içermeyen, heterotrof beslenme özelliğine sahip ökaryotik organizmalardır. Genellikle kitin içeren hücre duvarlarına sahip olan bu organizmalar, hiflerden oluşan miselyal yapılarıyla gelişmekte ve eşeyli veya eşeysiz sporlar aracılığıyla çoğalabilmektedir. Saprotrof, parazitik veya simbiyotik yaşam biçimleri sergileyen funguslar, organik maddelerin ayrıştırılmasında ve karbon, azot ve fosfor gibi elementlerin biyogeokimyasal döngülerinde önemli roller üstlenmektedir. Makromantarlar, çıplak gözle görülebilen meyve gövdeleri oluşturmalarıyla karakterize edilmektedir. Bu organizmalar, ekolojik işlevlerinin yanı sıra besinsel değerleri ve sentezledikleri çeşitli biyoaktif metabolitler nedeniyle gıda, farmasötik ve biyoteknolojik uygulamalarda değerlendirilmektedir (Chang ve Miles 1992; Valverde vd., 2015; Amara and El-Baky, 2023).

Makromantarlar, fenolik bileşikler, terpenoidler, proteinler ve polisakkaritler gibi farklı kimyasal gruplara ait biyoaktif bileşenler bakımından zengin doğal kaynaklardır. Fenolik bileşikler; antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleriyle öne çıkarken, terpenoidlerin çeşitli biyolojik etkiler gösterdiği bildirilmektedir. Protein yapısındaki lektinler farklı biyolojik aktivitelerle ilişkilendirilirken, polisakkaritler özellikle immünomodülatör ve antioksidan özellikleriyle dikkat çekmektedir (Abdelshafy vd., 2022; Fogarasi vd., 2024). Bu bileşik çeşitliliği, makromantarların farklı biyoteknolojik uygulamalarda değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Makromantarların insektisidal özellikleri, farklı türlerden elde edilen ekstraktların tarımsal zararlılar üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarla ortaya konulmuştur. Mier vd. (1996), çeşitli makromantarların *Drosophila melanogaster* ve *Spodoptera littoralis* üzerindeki insektisidal etkilerini incelemiş ve bazı türlerin böcekler üzerinde toksik aktivite gösterdiğini bildirmiştir. Díaz-Godínez vd. (2016) ise *Pycnoporus cinnabarinus* ve *Pleurotus pulmonarius* türlerinin ekstraktlarını karşılaştırmış ve *P. cinnabarinus* ekstraktlarının *Diatraea magnifactella* larvalarında öldürücü etki gösterdiğini, buna karşılık *P. pulmonarius* ekstraktlarının aynı zararlı üzerinde insektisidal aktivite göstermediğini belirlemiştir. Benzer şekilde Pino vd. (2019), *Pleurotus ostreatus* ekstraktlarının *Sitophilus zeamais* üzerindeki etkilerini araştırmış ve özellikle etil asetat ekstraktının fumigant toksisite ve uzaklaştırıcı özellikler gösterdiğini bildirmiştir. Bu çalışmalar, makromantarların insektisidal etkinliğinin mantar türüne, ekstraktın özelliklerine ve hedef böcek türüne bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Makromantarlardan izole edilen bazı sekonder metabolitler ve proteinlerin böcekler üzerinde toksik etkiler gösterebildiği bildirilmiştir.

Makromantarların farklı böcek grupları üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar, insektisidal aktivitenin yalnızca *Pleurotus* türleriyle sınırlı olmadığını göstermektedir. Pohleven vd. (2011), *Clitocybe nebularis* türünün meyve gövdelerinden elde edilen lektinlerin *Drosophila melanogaster* üzerindeki insektisidal ve *Leptinotarsa decemlineata* üzerindeki beslenmeyi olumsuz etkileyen özelliklerini ortaya koymuştur. Thongwat vd. (2015), farklı mantar türlerinden hazırlanan ekstraktları *Aedes aegypti* larvalarında değerlendirmiş ve özellikle *Steccherinum* türünden elde edilen ekstraktların larvisidal aktivite gösterdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, *Laetiporus sulphureus* türünün metanol ekstraktının *Anopheles stephensi* ve *Culex quinquefasciatus* larvaları üzerinde öldürücü etki gösterdiği belirlenmiştir (Sivanandhan vd., 2018). Adedoyin vd. (2021) ise *Agaricus semotus* türünden saflaştırılan lektinin *C. quinquefasciatus* larvalarında insektisidal aktiviteye sahip olduğunu bildirmiştir. Bu

araştırmalar, farklı makromantar türlerinden elde edilen ekstraktların ve proteinlerin böcekler üzerindeki biyolojik etkilerine ilişkin deneysel kanıtlar sunmakla birlikte, söz konusu sonuçlar doğrudan afitlere karşı etkinlik olarak değerlendirilmemelidir. Bu bileşiklere ilişkin seçilmiş çalışmalar ve bildirilen biyolojik etkiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Bazı makromantarlardan elde edilen biyoaktif bileşikler ve insektisidal özelliklerine ilişkin bulgular

Makromantar	Bileşik / protein	Bildirilen etki	Kaynak
Amanita muscaria, A. pantherina	İbotenik asit	Sineklere karşı toksik etki	Wieland (1968)
***Amanita* spp.**	Amatoksinler	RNA polimeraz inhibisyonuyla ilişkili toksisite; böceklerde duyarlılık farklılıkları	Jaenike vd. (1983)
***Amanita, Boletus, Clitocybe* ve diğer bazı cinsler**	Hemolizin, lektin, serpin gibi proteinler	İnsektisidal aktiviteyle ilişkili proteinler	Wang vd. (2002)
***Pleurotus* spp.**	Ostreolysin A6, pleurotolysin A2, erylysin A ve pleurotolysin B kompleksleri	Bazı kınkanatlılarda hücre zarı hasarı ve insektisidal etki; Sitobion avenae üzerinde etkisizlik	Panevska vd. (2019, 2021)

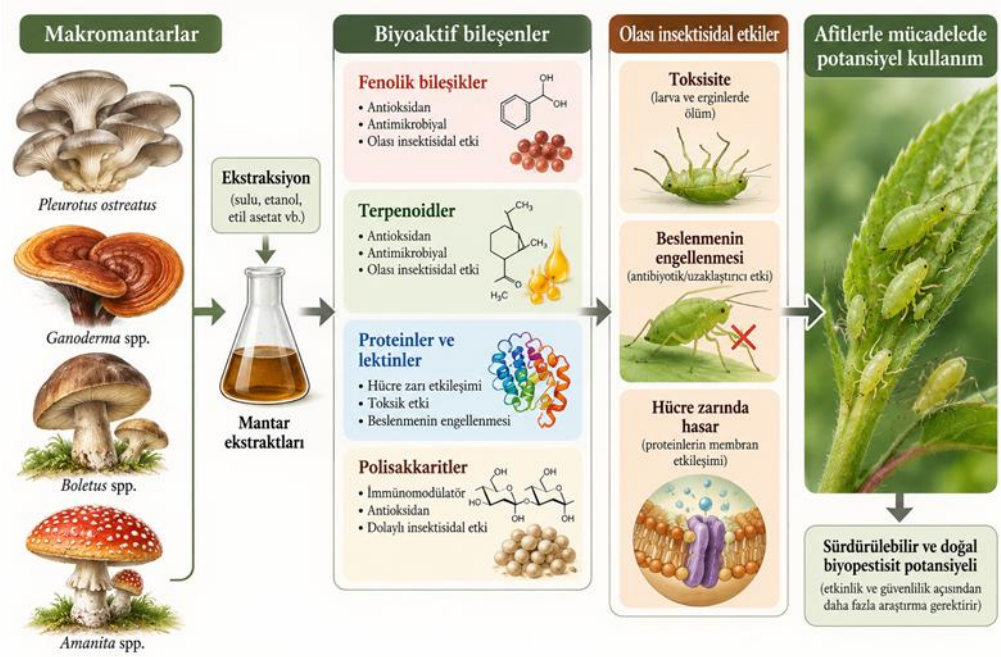
Makromantarların insektisidal aktivitelerinde çeşitli sekonder metabolitlerin ve proteinlerin rol oynayabileceği bildirilmektedir. Özellikle *Amanita muscaria* ve *A. pantherina* türlerinde bulunan ibotenik asit ile *Amanita* türlerinden elde edilen amatoksinler, toksik özellikleriyle dikkat çeken bileşikler arasındadır. Ayrıca bazı makromantar türlerinde hemolizin, lektin ve serpin gibi proteinlerin insektisidal aktiviteyle ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Wang vd., 2002; Castañeda-Ramírez vd., 2022). Bununla birlikte, bu bileşiklerin toksik özelliklerinin bulunması, afitlere karşı etkili ve güvenli biyopestisitler olarak kullanılabilecekleri anlamına gelmemektedir.

Özellikle *Pleurotus* cinsi, insektisidal özellik gösteren proteinleri bakımından dikkat çekmektedir. Panevska vd. (2019), *Pleurotus* türlerinden elde edilen aegerolysin proteinlerinin pleurotolysin B ile oluşturduğu komplekslerin böcek hücre zarındaki seramid fosfoetanolamin ile etkileşerek membranda por oluşumuna neden olduğunu bildirmiştir. Araştırmada bu protein komplekslerinin *Diabrotica virgifera* ve *Leptinotarsa decemlineata* gibi tarımsal zararlılar üzerinde insektisidal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Makromantar ekstraktlarının ve biyoaktif bileşiklerinin afitlerle mücadelede kullanım potansiyelinin, farklı afit türleri üzerinde gerçekleştirilecek deneysel çalışmalarla değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

3. Makromantarların Afitlerle Mücadelede Kullanımı

Makromantarların tarımsal zararlılarla mücadelede kullanımına yönelik çalışmalar, bu organizmalardan elde edilen ekstraktların ve biyoaktif bileşiklerin insektisidal özelliklerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, makromantarların doğrudan afitler üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu kapsamda özellikle *Pleurotus* türleriyle gerçekleştirilen çalışmalar, makromantar kaynaklı bileşiklerin afitlerle mücadeledeki potansiyelinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Noshad vd. (2015), *Pleurotus ostreatus* türünün meyve gövdesi, miselyumu ve kültür filtratından elde edilen etil asetat ekstraktlarının gül afidi *Macrosiphum rosae* üzerindeki insektisidal etkilerini araştırmıştır. Çalışmada ekstraktlar 20, 40, 60 ve 80 µg/mL konsantrasyonlarında uygulanmış ve afit ölümleri 4, 12 ve 24 saatlik maruziyet sürelerinde değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, farklı mantar materyallerinden elde edilen ekstraktların afitler üzerinde öldürücü etki gösterdiğini ve en yüksek insektisidal aktivitenin meyve gövdesi ekstraktında belirlendiğini bildirmiştir. Ayrıca ekstrakt konsantrasyonu ve maruziyet süresinin artmasıyla afit ölümlerinde genel olarak artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar, *P. ostreatus* türünün afitlerle mücadelede değerlendirilebilecek biyoaktif bileşikler içerebileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Makromantarlardan elde edilen biyoaktif bileşiklerin afitlerle mücadelede olası kullanım alanları ve etki mekanizmalarının şematik gösterimi.

Panevska vd. (2019), *Pleurotus* türlerinden elde edilen aegerolysin proteinlerinin pleurotolysin B (PlyB) ile oluşturduğu komplekslerin farklı tarımsal zararlılar üzerindeki insektisidal etkilerini incelemiştir. Çalışmada OlyA6/PlyB, PlyA2/PlyB ve EryA/PlyB protein komplekslerinin *Diabrotica virgifera virgifera* ve *Leptinotarsa decemlineata* üzerinde öldürücü etki gösterdiği, buna karşılık buğday afidi *Sitobion avenae* üzerinde 500 µg/mL konsantrasyonunda hayatta kalma ve davranış bakımından belirgin bir etki oluşturmadığı bildirilmiştir. Bu bulgular, makromantar kaynaklı insektisidal proteinlerin etkilerinin hedef böcek türüne göre farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Makromantarların zararlı yönetimindeki kullanım olanaklarını değerlendiren derleme çalışmalarında, özellikle yenilebilir mantarların farklı biyolojik aktivitelere sahip metabolitleri nedeniyle alternatif biyopestisit kaynakları olarak araştırılabileceği vurgulanmaktadır. Manta vd. (2025), yenilebilir makromantarların pestisit geliştirme açısından potansiyel taşıyan biyoaktif bileşiklerini ele alarak bu doğal kaynakların sürdürülebilir zararlı yönetimindeki olası kullanım alanlarını değerlendirmiştir. Farklı zararlı böceklerde belirlenen insektisidal etkilerin

afitler için de geçerli olup olmadığının, doğrudan afitler üzerinde gerçekleştirilecek deneysel çalışmalarla ortaya konulması gerekmektedir.

4. Sonuç

Makromantarların tarımsal zararlılarla mücadelede değerlendirilmesi, biyolojik mücadeleye yönelik alternatif yaklaşımların geliştirilmesi açısından araştırılmaya değer bir alan oluşturmaktadır. Ancak mevcut bilimsel veriler, bu organizmaların afit kontrolünde yaygın olarak kullanılabilmesi için henüz yeterli değildir. Özellikle araştırmaların belirli mantar cinsleriyle sınırlı kalması, makromantarların sahip olduğu biyolojik çeşitliliğin bu alanda yeterince değerlendirilmediğine işaret etmektedir.

Gelecekteki araştırmalarda farklı ekolojik gruplara ait makromantar türlerinin sistematik olarak taranması, etkili ekstraktların kimyasal karakterizasyonunun yapılması ve afitlerin farklı gelişim dönemlerindeki duyarlılıklarının belirlenmesi öncelikli olmalıdır. Bunun yanında öldürücü etkilerin yanı sıra beslenme, üreme ve popülasyon gelişimi üzerindeki olası etkilerin de incelenmesi, bu doğal kaynakların kullanım olanaklarının daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayacaktır. Elde edilecek verilerin uygulama yöntemleri, çevresel güvenlik ve ekonomik uygulanabilirlik açısından desteklenmesi, makromantarların entegre zararlı yönetimi programlarına dâhil edilmesine yönelik bilimsel bir temel oluşturabilir.

Kaynaklar

Abdelshafy, A. M., Belwal, T., Liang, Z., Wang, L., Li, D., Luo, Z., & Li, L. (2022). A comprehensive review on phenolic compounds from edible mushrooms: Occurrence, biological activity, application and future prospective. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(22), 6204-6224.

Adedoyin, I. O., Adewole, T. S., Agunbiade, T. O., Adewoyin, F. B., & Kuku, A. (2021). A purified lectin with larvicidal activity from a woodland mushroom, Agaricus semotus Fr. Acta Biologica Szegediensis, 65(1), 65-73.

Amara, A. A., & El-Baky, N. A. (2023). Fungi as a source of edible proteins and animal feed. Journal of Fungi, 9(1), 73.

Bass, C.; Puinean, A.M.; Zimmer, C.T.; Denholm, I.; Field, L.M.; Foster, S.P.; Gutbrod, O.; Nauen, R.; Slater, R.;Williamson, M.S. The Evolution of Insecticide Resistance in the Peach Potato Aphid, Myzus persicae. Insect Biochem. Mol. Biol. 2014, 51, 41-51.

Castañeda-Ramírez, G., Aguilar-Marcelino, L., & López-Guillen, G. (2022). Macroscopic and microscopic fungi with insecticidal activity. Chilean journal of agricultural research, 82(2), 348-357.

Chang, S. T., & Miles, P. G. (1992). Mushroom biology—a new discipline. Mycologist, 6(2), 64-65.

Dedryver, C.A.; Le Ralec, A.; Fabre, F. The Conflicting Relationships between Aphids and Men: A Review of Aphid Damage and Control Strategies. Comptes Rendus-Biol. 2010, 333, 539–553.

Díaz-Godínez, G., Téllez-Téllez, M., Rodríguez, A., Obregón-Barbosa, V., Acosta-Urdapilleta, M. D. L., & Villegas, E. (2016). Enzymatic, antioxidant, antimicrobial, and insecticidal activities of Pleurotus pulmonarius and Pycnoporus cinnabarinus grown separately in an airlift reactor. BioResources, 11(2), 4186-4200.

Elbert, A.; Haas, M.; Springer, B.; Thielert, W.; Nauen, R. Applied Aspects of Neonicotinoid Uses in Crop Protection. Pest Manag. Sci. 2008, 64, 1099–1105.

European Food Safety Authority Neonicotinoids: Risks to Bees Confirmed. Available online: https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/180228 (accessed on 3 October 2022).

Fogarasi, M., Nemeș, S. A., Fărcaș, A., Socaciu, C., Semeniuc, C. A., Socaciu, M. I., & Socaci, S. (2024). Bioactive secondary metabolites in mushrooms: A focus on polyphenols, their health benefits and applications. Food Bioscience, 62, 105166.

Francis, F., Fingu-Mabola, J. C., & Ben Fekih, I. (2022). Direct and endophytic effects of fungal entomopathogens for sustainable aphid control: a review. Agriculture, 12(12), 2081.
Jactel, H.; Verheggen, F.; Thiéry, D.; Escobar-Gutiérrez, A.J.; Gachet, E.; Desneux, N. Alternatives to Neonicotinoids. Environ. Int. 2019, 129, 423–429.
Jaenike, J., Grimaldi, D. A., Sluder, A. E., & Greenleaf, A. L. (1983). α-Amanitin tolerance in mycophagous Drosophila. Science, 221(4606), 165-167.
Manta, A., Kalyan, E., Kalita, J. J., Zothanzama, J., Kumar, N. S., & Bora, U. (2025). Unveiling the Pesticidal Potential of Edible Mushrooms: A Concise Review on Bioactive Compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 73(29), 18085-18099.
Mier, N., Canete, S., Klaebe, A., Chavant, L., & Fournier, D. (1996). Insecticidal properties of mushroom and toadstool carpophores. Phytochemistry, 41(5), 1293-1299.
Noshad, A., Iqbal, M., Iqbal, Z., Bibi, H., Saifullah, B. S., & Shah, H. U. (2015). Aphidicidal potential of ethyl acetate extract from Pleurotus ostreatus. Sarhad Journal of Agriculture, 31(2), 101-105.
Panevska, A., Hodnik, V., Skočaj, M., Novak, M., Modic, Š., Pavlic, I., ... & Sepčić, K. (2019). Pore-forming protein complexes from Pleurotus mushrooms kill western corn rootworm and Colorado potato beetle through targeting membrane ceramide phosphoethanolamine. Scientific Reports, 9(1), 5073.
Panevska, A., Skočaj, M., Modic, Š., Razinger, J., & Sepčić, K. (2021). Aegerolysins from the fungal genus Pleurotus–Bioinsecticidal proteins with multiple potential applications. Journal of invertebrate pathology, 186, 107474.
Pino, V., Silva-Aguayo, G., Figueroa-Cares, I., Gerding-González, M., Loyola, P., Castañeda-Ramirez, G. S., & Aguilar-Marcelino, L. (2019). Eficacia in vitro de extractos del hongo comestible Pleurotus ostreatus Kumm para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 35(3), 293-303.
Pohleven, J., Brzin, J., Vrabec, L., Leonardi, A., Čokl, A., Štrukelj, B., ... & Sabotič, J. (2011). Basidiomycete Clitocybe nebularis is rich in lectins with insecticidal activities. Applied microbiology and biotechnology, 91(4), 1141-1148.
Sivanandhan, S., Ganesan, P., Paulraj, M. G., & Ignacimuthu, S. (2018). Larvicidal, ovicidal, and histopathological effects of the sulphur polypore mushroom, *Laetiporus sulphureus* (Agaricomycetes), collected from Tamil Nadu, India against mosquitoes. International Journal of Medicinal Mushrooms, 20(12), 1197-1207.
Thongwat, D., Pimolsri, U., & Somboon, P. (2015). Screening for mosquito larvicidal activity of thai mushroom extracts with special reference to Steccherinum sp against Aedes aegypti (L.)(Diptera: Culicidae). Southeast Asian J Trop Med Public Health, 46(4), 586-95.
Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. International journal of microbiology, 2015(1), 376387.
Wang, M., Triguéros, V., Paquereau, L., Chavant, L., & Fournier, D. (2002). Proteins as active compounds involved in insecticidal activity of mushroom fruitbodies. Journal of economic entomology, 95(3), 603-607.
Wieland, T. 1968. Poisonous principles of mushrooms of the genus Amanita. Four-carbon amines acting on the central nervous system and cell-destroying cyclic peptides are produced. Science 159:946-952.

AFİTLERİN BİTKİSEL SEKONDER METABOLİTLERE ADAPTASYONU

Dr. Öğr. Üyesi Gülay OLCABEY ERGİN
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Zübeyde Hanım Sağlık Hizmetleri M.Y.O., Niğde, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2521-2312
Dr. Şükrü CANPOLAT
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Niğde, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001- 8223-7260

ÖZET
Afitler (Hemiptera: Aphidoidea) floem özsuyuyla beslenen, konak bitki ile sıkı ilişki içerisinde olan fitofag böcek gruplarındandır. Bitkisel üretimi azaltma ve bitki virüslerinin vektörü olmaları nedeniyle zararlı böcek grupları arasında değerlendirilmektedir. Bitkilerin savunma mekanizmalarının temel bileşenlerinden birini oluşturan bitkisel sekonder metabolitler (BSM'ler), afitleri uzaklaştırarak onların biyolojik performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Afitler de bu kimyasalların etkilerine karşı koyabilmek için çeşitli direnç mekanizmaları geliştirmiştir. Bu çalışmada, afitlerin bitkisel sekonder metabolitlere karşı geliştirdikleri biyolojik ve moleküler adaptasyon mekanizmaları ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Bunun yanı sıra, afitlerle ilişkili virüslerin bitkilerin savunma mekanizmaları üzerindeki baskılayıcı etkileri de değerlendirilerek bitki-afit etkileşimlerinin karmaşık yapısı ortaya konulmaktadır. Bu mekanizmalara ilişkin önemli bilimsel bulgular elde edilmiş olmakla birlikte, detoksifikasyon genlerinin işlevsel olarak doğrulanması, simbiyontlar arasındaki etkileşimlerin moleküler düzeyde aydınlatılması ve sekestrasyonun farklı afit türleri açısından ekolojik öneminin belirlenmesi gibi konular hâlen kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duymaktadır. Sürdürülebilir bitkisel üretimin sağlanması ve afit kaynaklı ürün kayıplarının azaltılması amacıyla, gelecekte sekonder metabolitler bakımından zengin ve afitlere karşı doğal direnç özellikleri taşıyan yabani akraba türlerden yararlanılarak yürütülecek geleneksel ıslah çalışmalarının yanı sıra, bahçe bitkilerinde moleküler temelli ıslah yaklaşımlarına da ağırlık verilmelidir. Özellikle bitki genom bilimindeki yeni teknolojiler, efektör proteinlerin tanımlanması ve mikrobiyom araştırmalarındaki gelişmeler, yalnızca afitlere karşı değil, afitlerin vektörlüğünü yaptığı bitki hastalıklarının yayılmasına karşı da dirençli çeşitlerin geliştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu yaklaşımların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi ve uygulamaya aktarılması, afitlere karşı dirençli, yüksek verimli bitki çeşitlerinin geliştirilmesine ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.
Anahtar kelimeler: Afit, bitki, bitkisel sekonder metabolitler, direnç, sürdürülebilirlik.

APHID ADAPTATION TO PLANT SECONDARY METABOLITES

ABSTRACT
Aphids (Hemiptera: Aphidoidea) are phytophagous insects that feed on phloem sap and maintain close associations with their host plants. They are considered major agricultural pests due to their ability to reduce crop production and act as vectors of plant viruses. Plant secondary metabolites (PSMs), which constitute one of the fundamental components of plant defense

mechanisms, deter aphids and negatively affect their biological performance. In response to these chemical compounds, aphids have evolved various resistance mechanisms. This study provides a detailed overview of the biological and molecular adaptation mechanisms developed by aphids against plant secondary metabolites. Furthermore, the suppressive effects of aphid-associated viruses on plant defense mechanisms are evaluated, highlighting the complexity of plant-aphid interactions. Although significant scientific advances have been made in understanding these mechanisms, several aspects still require further investigation, including the functional validation of detoxification genes, the elucidation of molecular interactions among symbionts, and the ecological significance of sequestration across different aphid species. To ensure sustainable crop production and reduce aphid-induced yield losses, future research should focus not only on conventional breeding approaches utilizing wild relatives with high levels of secondary metabolites and natural resistance to aphids but also on molecular-based breeding strategies in horticultural crops. In particular, new technologies in plant genomics, the identification of effector proteins, and advances in microbiome research offer significant opportunities for developing crop varieties resistant not only to aphids but also to the spread of plant diseases transmitted by these insect vectors. A comprehensive evaluation and practical implementation of these approaches will make important contributions to the development of aphid-resistant, high-yielding crop varieties and the widespread adoption of sustainable agricultural practices.
Keywords: Aphid, plant, plant secondary metabolites, resistance, sustainability.

1. GİRİŞ

Afitler, bitkilerle doğrudan beslenerek ve çok sayıda bitki virüsünün vektörlüğünü yaparak dünya genelinde tarımsal üretimde önemli kayıplara neden olan, küçük boyutlu (<7 mm), yumuşak vücut yapısına sahip böceklerdir. Aphid Species File veri tabanının en güncel verilerine göre, günümüzde yaklaşık 5700 afit türü tanımlanmış olup bunların yaklaşık 250'sinin dünya genelinde tarımsal ve bahçe bitkilerinde önemli zararlılar arasında yer aldığı bildirilmektedir (Singh vd., 2021; Olcabey Ergin, 2025; Favret, 2026).

Afitler çoğunlukla yaprakların alt yüzeylerinde veya sürgün uçlarının yumuşak dokularında koloniler hâlinde yaşamlarını sürdürmekte, bitki floem özsuyunu emmek suretiyle beslenmekte ve şeker açısından zengin balsı madde (honeydew) olarak adlandırılan sıvı bir madde salgılamaktadır (Olcabey Ergin vd., 2024). Balsı madde, zamanla fumajin (sooty mold) olarak bilinen siyah renkli fungal oluşumların gelişmesine neden olmaktadır. Söz konusu salgı, arılar ve karıncalar için besin kaynağı oluştururken karıncaların faaliyetleri aracılığıyla parazitoit yaban arılarıyla olan etkileşimleri dolaylı olarak değiştirebilmektedir (Döring, 2014). Bununla birlikte, fumajin oluşumu bitkilerin fotosentetik olarak aktif yüzey alanını azaltarak bitki gelişiminin gerilemesine ve verim kayıplarına yol açmaktadır.

Bitkilerde böceklerle taşınan virüslerin yaklaşık %50'sinin afitler aracılığıyla bulaştırıldığı bildirilmektedir (Ertunc, 2020). Afitler, kanatlı (alatae) ve kanatsız (apterae) bireyler olmak üzere farklı morfolojik formlara sahiptir. Yoğun beslenme davranışları nedeniyle afitler, dünya genelinde her yıl milyonlarca dolarlık ekonomik kayba neden olmaktadır (Favret, 2026). Afitler; eşeyli üreyen erkek bireyler, eşeysiz üreyen dişi bireyler ve yumurta bırakan dişilerden oluşan karmaşık bir üreme sistemine sahiptir. Eşeysiz dişiler aracılığıyla gerçekleşen partenogenetik üreme, afitlerin farklı mevsimsel koşullar boyunca yaşamlarını sürdürmelerine olanak sağlamaktadır. Partenogenez, genellikle 10 gün içerisinde gerçekleşebilen hızlı bir üreme biçimidir ve afit popülasyonlarının kısa sürede hızla artmasını sağlamaktadır (Crossley, 2021; Singh vd., 2021). Afitlerin hızlı ve farklı üreme stratejileri nedeniyle tarımsal ve bahçe

bitkilerinde oluşturdukları ekonomik kayıpların en aza indirilmesi açısından popülasyonlarının etkili bir şekilde kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, afitlerin bitkisel sekonder metabolitlere (BSM'ler) adaptasyonu üzerinde durulmaktadır. Ancak, özellikle sera koşullarında afit istilalarının kontrolünde entegre zararlı yönetimi (Integrated Pest Management, IPM) uygulamalarından yararlanıldığının da belirtilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, biyolojik mücadele etmenlerinin ortama salınması önemli bir kontrol stratejisi olarak kullanılmaktadır. Örneğin, sera koşullarında gerçekleştirilen bir çalışmada, *Aphidius colemani* türünün *Myzus persicae* ve diğer afit türlerinin popülasyonlarını baskılamada etkili olduğu gösterilmiştir (Prado, 2015). Ayrıca, biyolojik mücadele yöntemlerine dayalı sera uygulamalarının, destekleyici bitki sistemlerinde (banker plant systems) ve süs bitkisi yetiştiriciliği yapılan seralarda afitlerin kontrolünde de başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Payton Miller ve Rebek, 2018). İlginç bir şekilde, afitlerle mücadelede yetiştiricilerin sentetik insektisitlere bağımlılığını sürdürmesi dikkat çekici bir durumdur. Çiftçiler tarafından sentetik insektisitlerin aşırı ve yoğun kullanılması, afit popülasyonlarında insektisit direncinin gelişmesine yol açmıştır. Dünya genelinde yaklaşık 20 önemli afit türünün en az bir insektisite karşı direnç geliştirdiği bildirilmektedir. Bu durum, diğer afit türlerinin kontrolünü de önemli ölçüde tehdit etmektedir. 2025 yılı verilerine göre, Arthropod Pesticide Resistance Database (APRD), 30 afit türüyle ilişkili toplam 1218 insektisit direnç kaydı bildirmiştir. Bu kayıtların büyük çoğunluğu, ekonomik açıdan önemli zararlı türler arasında yer alan *Myzus persicae* (522 kayıt) ve *Aphis gossypii* (438 kayıt) üzerinde yoğunlaşmaktadır (Mota-Sanchez ve Wise, 2025). Tarım sistemlerinde afit adaptasyonunun evrimini şekillendiren iki temel seçilim baskısı bulunmaktadır: a) yoğun insektisit kullanımı, b) dirençli bitki çeşitlerinin yetiştirilmesi. İnsektisit uygulamaları metabolik direnci ve hedef bölge direncinin gelişimini desteklerken, dirençli bitkiler afitlerde virülent biyotiplerin seçilimine neden olmaktadır. Örneğin *Myzus persicae* türünde insektisit direnci ilk kez 1950'li yıllarda bildirilmiş, 1970-1980'li yıllarda ise farklı direnç mekanizmaları ve bitki direncini aşabilen virülent biyotipler tanımlanmıştır. 2000'li yıllardan itibaren genomik ve transkriptomik çalışmalar, detoksifikasyon genlerindeki kopya sayısı değişimleri ve direnç alellerinin yayılımı gibi moleküler mekanizmaları ortaya koymuştur (Farhan vd., 2026; Singh vd., 2021).

Bu çalışmada, bazı tarla bitkileri ile bahçe bitkilerinde afit-bitkisel sekonder metabolit (BSM) etkileşimleri ele alınmaktadır. Bitkiler, biyotik ve abiyotik streslere karşı geliştirdikleri BSM'ler aracılığıyla böcek zararlılarına karşı savunma sağlamaktadır. Bu bileşikler afitleri uzaklaştırabilmekte, beslenmelerini engelleyebilmekte ve hatta ölümlerine neden olabilmektedir. Dolayısıyla BSM'ler, sürdürülebilir tarım ve entegre zararlı yönetimi kapsamında çevre dostu mücadele araçları olarak önem taşımaktadır (Farhan vd., 2024). Bununla birlikte afitler, enzimatik detoksifikasyon, mikrobiyal simbiyontlar, tükürük proteinleri, bitki savunma mekanizmalarının viral etkenler aracılığıyla baskılanması ve davranışsal değişimler gibi çeşitli mekanizmalarla BSM'lerin toksik etkilerini aşabilmektedir (War vd., 2020). Bu durum, afit-bitki etkileşimlerinin karmaşıklığını ve BSM'lerin zararlı kontrolündeki sınırlılıklarını ortaya koymaktadır. Afitlerin BSM'lere adaptasyonunda rol oynayan moleküler mekanizmaların aydınlatılması için omik teknolojilerden yararlanılması önemlidir. Transkriptom analizleri, kantitatif özellik lokuslarının (QTL) haritalanması ve genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS), afit direnciyle ilişkili genlerin belirlenmesine ve dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Nitekim bu yöntemlerle pamuk, mısır, salatalık ve soya fasulyesinde afit direnciyle ilişkili genler tanımlanmıştır (Wang vd. 2023; Zhang vd., 2024a).

Bu derlemede, farklı afit türlerine karşı biyopestisit olarak bitkisel sekonder metabolitlerin

potansiyeli, afitlerin bitkisel savunma bileşiklerine karşı geliştirdiği direnç mekanizmaları ve bu bileşiklerin oluşturduğu stres koşullarına adaptasyon süreçleri ele alınmaktadır. Ayrıca, afit-bitki etkileşimlerinin moleküler düzeyde daha iyi anlaşılmasını sağlayan güncel araştırmalar ışığında, BSM bakımından zengin ve afitlere dayanıklı yeni bitki çeşitlerinin ıslahı ve genetik mühendisliği yoluyla geliştirilmesi değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımların, IPM uygulamalarına ve gelecekteki araştırmalara katkı sağlaması, aynı zamanda sentetik pestisit kullanımını azaltması hedeflenmektedir. Yenilikçi araştırmalar, afitlerin kültür bitkilerine nasıl adapte olduğunu belirleyen moleküler mekanizmaları ortaya koyarak afit direnciyle mücadelede etkili stratejilerin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

1.1. Bitkisel Sekonder Metabolitlerin Savunmadaki Rolü

Bitkiler, çeşitli böcek zararlılarıyla mücadele edebilmek amacıyla terpenoidler, fenolik bileşikler, azot içeren bileşikler ve kükürt içeren bileşikler olmak üzere dört temel grupta sınıflandırılan bitkisel sekonder metabolitleri üretmektedir (Zaynab vd., 2018). Bu bileşikler; zararlıları uzaklaştırma, öldürme ve doğal düşmanlarını çekme özellikleri sayesinde afitler ve diğer böcek zararlılarının kontrolünde doğal insektisit olarak etkili olabilmektedir (Farhan vd., 2024). Bitkisel sekonder metabolitlerin en önemli gruplarından biri olan terpenler; doğrudan toksik etki, beslenmeyi engelleme (antifeedant) ve yumurta bırakmayı caydırma gibi mekanizmalarla bitki savunmasında rol oynamaktadır (Lyubenova vd., 2023). Örneğin, triterpenoidlerden cucurbitacin B, *Aphis gossypii* üzerinde toksik ve antifeedant etki gösterirken (Zhao vd., 2021), seskiterpenoid olan farnesol *Myzus persicae* üzerinde insektisidal ve antimikrobiyal özellik sergilemektedir (Cantó-Tejero vd., 2022). Monoterpenoid grubundaki d-limonen ise *A. gossypii* ve *M. persicae* üzerinde afitisidal etkiye sahiptir (Smith vd., 2018).

Aromatik halka içeren fenolik bileşikler, flavonoidler, stilbenler, tanenler ile ligninler gibi farklı grupları kapsayan heterojen bir bitkisel sekonder metabolit sınıfıdır (Ahmed vd., 2017; Farhan vd., 2026). Örneğin, tanik asit *A. gossypii* ve *M. persicae* üzerinde antifeedant etki gösterirken (Ma vd., 2019; Liu vd., 2022), flavonoid grubundaki kuersetin *Macrosiphum rosae* üzerinde afitisidal aktivite sergilemektedir (Gupta vd., 2017).

Azot içeren sekonder metabolitlerden alkaloidler (kafein, kolşisin, nikotin, morfin ve ergolinler), sinir iletimini bozmanın yanı sıra hücre iskeleti ve zar yapısını, DNA replikasyonunu, enzim aktivitesini ve protein sentezini olumsuz etkileyerek böcekler üzerinde toksik etki oluşturmaktadır (Ahmed vd., 2017). Bu grupta yer alan kapsaisin de *M. persicae* ve *A. gossypii* üzerinde afitisidal özellik göstermektedir (Edelson vd., 2002). Kükürt içeren savunma bileşikleri ise başlıca alliinler ve glukozinolatları kapsamakta ve otçul böceklere karşı bitki savunmasına katkıda bulunmaktadır (Lyubenova vd., 2023). Kamaleksin ve glukozinolatların *Diuraphis noxia* ile *M. persicae* üzerinde antifeedant etkileri bildirilmiştir (Kettles vd., 2013).

Sekonder metabolitlerin işlevleri, kimyasal yapıları ve insektisidal etki mekanizmalarının yanı sıra bitki bünyesindeki mekânsal, zamansal ve uyarılabilir düzenleme mekanizmalarıyla kontrol edilmektedir. Bu bileşiklerin üretimi otçul böcek türüne özgü olup genellikle böcek saldırısı sonrasında başlatılmakta ve böylece bitkinin enerji tasarrufu sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu savunma yanıtının düzenlenmesinde salisilik asit (SA) ve jasmonik asit (JA) gibi bitki hormonları önemli rol oynamaktadır. Böcek zararına karşı savunmada öne çıkan JA, özellikle böcek beslenmesiyle indüklenmektedir. Bununla birlikte, floemle beslenen böceklerin çoğu SA bağımlı savunma yanıtlarını uyarırken, *Bemisia tabaci* (Liu vd., 2021), *Nilaparvata lugens* (Li vd.,2023) ve *Sogatella furcifera* (Wang vd., 2020) gibi bazı türler ile yaprak çiğneyen böcekler JA bağımlı savunmayı aktive etmektedir (Wasternack ve Feussner, 2018).i

Afit türleri de bitkilerin hormonal savunma mekanizmalarını farklı biçimlerde

düzenleyebilmektedir. Örneğin, *Aphis spiraecola* turunçgillerde JA bağımlı savunma yanıtlarını artırarak *Diaphorina citri*'nin gelişimini olumsuz etkilerken, *Aphis citricidus* JA sinyal yolunu baskılayarak psillidlerin beslenme ve üreme başarısını artırmaktadır (Gao vd., 2023). Bitkiler ile afitler arasındaki birlikte evrimsel etkileşim, bitkisel kimyasal savunmanın oluşturduğu seçilim baskısı sonucunda afitlerin konukçu bitkilerine özgü adaptasyonlar geliştirmesine yol açmaktadır. Nitekim *Myzus persicae*, *Arabidopsis thaliana* bik1 mutantlarında detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesini artırarak oksidatif strese karşı yaşamını sürdürebilmektedir (Lei ve Zhu-Salzman, 2015). Bu durum, bitkiler ile floem öz suyu ile beslenen afitler arasında savunma ve karşı adaptasyonların sürekli geliştiği evrimsel bir mücadele bulunduğunu ve bu etkileşimlerin afitlerde bitki savunma mekanizmalarına karşı direnç gelişimini teşvik edebildiğini göstermektedir.

1.2. Afitlerin Bitki Savunma Mekanizmalarına Karşı Geliştirdiği Direnç Mekanizmaları

Evrimsel süreç içerisinde afitler ve konak bitkileri arasında, her iki tarafın özelliklerini ve adaptasyonlarını karşılıklı olarak etkilediği karmaşık etkileşimler gelişmiştir. Bitkilerin afit saldırılarına karşı çeşitli savunma amaçlı fitokimyasallar üretmesine karşılık, afitler de enzimatik detoksifikasyon ve davranışsal adaptasyonlar gibi farklı mekanizmalarla bitkisel sekonder metabolitlerin olumsuz etkilerini aşmaya çalışmaktadır.

Detoksifikasyon Enzimleri Aracılığıyla Geliştirilen Direnç Mekanizmaları

Böcekler, bitkisel sekonder metabolitlerin olumsuz etkilerine karşı detoksifikasyon ve antioksidan enzim sistemlerinden yararlanmaktadır. Sitokrom P450 (CYP), UDP-glikoziltransferaz (UGT) ve glutatyon S-transferaz (GST) enzimleri, toksik bileşiklerin metabolize edilerek etkisizleştirilmesini ve vücuttan uzaklaştırılmasını sağlarken; katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPX) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi antioksidan enzimler, çevresel etkenler veya metabolik stres sonucunda oluşan reaktif oksijen türlerinin (ROS) neden olduğu hücresel hasarı önlemektedir. GST enzimleri her iki savunma mekanizmasında da görev alabilmektedir. Bu enzim sistemleri, böceklerin bitkisel toksinlere karşı dayanıklılığını artırarak hücresel dengenin korunmasına katkı sağlamaktadır (Chamani vd., 2015).

Afitlerde bitkisel sekonder metabolitlerin ve diğer zararlı yabancı bileşiklerin detoksifikasyonu genel olarak üç metabolik aşamada gerçekleşmektedir.

1) İlk aşamada, sitokrom P450 mono-oksijenaz enzimleri toksik bileşiklere reaktif veya polar gruplar ekleyerek biyolojik aktivitelerini azaltmakta ve sonraki metabolik işlemlere uygun hâle getirmektedir.

2) İkinci aşamada, modifiye edilen bileşikler glutatyon veya şeker gibi suda çözünebilen moleküllerle birleştirilmekte; bu süreçte karboksilesterazlar (COE), glutatyon S-transferazlar (GST) ve UDP-glikoziltransferazlar (UGT) görev almaktadır.

3) Son aşamada ise oluşan metabolitler, ATP-bağlayıcı kaset (ABC) taşıyıcıları aracılığıyla hücre dışına atılarak hücresel toksisite azaltılmaktadır (Fu vd., 2024). Örneğin, gramin ve gallik asidin *Sitobion avenae* türünde bazı GST genlerinin ekspresyonunu artırdığı (Zhang vd., 2022), epigallokateşin gallat ve cucurbitacin B bileşiklerinin ise *A. gossypii* türünde AgoCYP6CY19 genini uyardığı belirlenmiştir (Gao vd., 2022). Benzer şekilde, *Acyrthosiphon pisum* türünde ApABCG17 geninin tanik asit uygulamasıyla artan ekspresyonu ve bu genin baskılanmasının afitlerin tanik aside duyarlılığını artırması, ABC taşıyıcılarının detoksifikasyondaki rolünü ortaya koymaktadır (Liu vd., 2022). Ancak yine de, detoksifikasyon genlerinin işlevsel mekanizmalarına ilişkin bilgiler henüz sınırlıdır.

Antioksidan enzim sistemleri ise normal hücresel solunum sırasında oluşan reaktif oksijen türlerini etkisiz hâle getirmektedir. Bitkisel sekonder metabolitlere ve abiyotik stres faktörlerine

maruz kalınması, bu enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif stresin kontrol edilmesini sağlayabilmektedir (Farhan vd., 2026). Bu savunmada süperoksit dismutaz (SOD), süperoksit radikallerini hidrojen peroksit ve oksijene dönüştürürken; katalaz (CAT), hidrojen peroksiti su ve oksijene parçalamaktadır. Glutatyon peroksidaz (GPx) ise indirgenmiş glutatyon (GSH) yardımıyla hidrojen peroksit ve organik peroksitleri daha az toksik bileşiklere dönüştürerek hücresel redoks dengesinin korunmasına katkıda bulunmaktadır (Chamani vd., 2025). Nitekim bitkisel sekonder metabolit içeren uçucu yağlara maruz bırakılan *Myzus persicae* ve *Rhopalosiphum padi* türlerinde H_2O_2 düzeyi ile SOD ve CAT aktivitelerinde değişimler gözlenmiştir (Czerniewicz ve Chrzanowski, 2021). Ayrıca, özellikle allelokimyasal içeriği yüksek konukçu bitkilerin değiştirilmesiyle afit dokularındaki SOD ve CAT aktivitelerinin farklılaşması, antioksidan sistemlerin bitkisel sekonder metabolit kaynaklı oksidatif strese karşı adaptasyonda rol oynadığını göstermektedir (Durak vd., 2018). Kimyon ve kişniş gibi konukçu bitkilere maruz kalan *Myzus persicae* türünde antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir (Khurshid vd., 2021). *Sitobion avenae* türünde ise gramin ve kateşolün yüksek konsantrasyonları katalaz (CAT) aktivitesini baskılarken, düşük konsantrasyonları artırmıştır. Bu durum, bitkisel sekonder metabolitlerin antioksidan sistemler üzerindeki etkisinin doza bağlı olduğunu göstermektedir (Zhang vd., 2013). Ayrıca belirli sekonder metabolitlerin afitlerde reaktif oksijen türlerinin oluşumu ve antioksidan savunma mekanizmaları üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Genel olarak afitler, detoksifikasyon ve antioksidan enzim sistemlerini kullanarak bitkisel sekonder metabolitlerin olumsuz etkilerine karşı adaptasyon ve direnç geliştirmektedir (Chamani vd., 2025; Durak vd., 2018).

Simbiyont aracılı adaptasyon

Afitlerde bulunan zorunlu ve fakültatif simbiyotik bakteriler, konukçularının fizyolojik işlevlerini destekleyerek bitkisel sekonder metabolitlere karşı adaptasyonlarını artırmaktadır (Singh vd., 2020; Zhang vd., 2021). Bazı simbiyotik bakteriler, bitki savunmasını baskılamak veya detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesini artırmak yoluyla afitlerin toksik bileşiklere toleransını geliştirmektedir. Örneğin, *Regiella insecticola* enfeksiyonunun *Sitobion avenae* türünün buğdaydaki DIMBOA toksinine karşı performansını artırdığı belirlenmiştir (Gonzalez-Gonzalez vd., 2024). Benzer şekilde, *A. gossypii* türünün bağırsak simbiyotu *Sphingomonas*, imidaklopridi metabolize edebilmektedir (Lv vd., 2023). Bu örnekler, simbiyotik mikroorganizmaların konukçu böceklerin toksik bitki bileşiklerine uyum sağlamasında ve farklı ekolojik koşullarda yaşamlarını sürdürebilmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir (Farhan vd., 2026).

Afitlerde, dikey ve yatay yollarla aktarılabilen dokuz farklı fakültatif simbiyotik bakteri grubu tanımlanmıştır. Bunlar arasında *Serratia, Hamiltonella, Rickettsia, Regiella, Arsenophonus* ve *Spiroplasma* yer alırken, tüm afit türlerinde bulunan zorunlu simbiyot *Buchnera*, temel besinsel işlevleri yerine getirmektedir (Olcabey Ergin vd., 2022). Bazı simbiyotik bakteriler, bitkilerin savunma mekanizmalarını baskılayarak afitlerin konak bitkilere adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır. Örneğin, *Serratia* taşıyan afitler beslenme sırasında bitkilerde reaktif oksijen türlerinin oluşumunu ve JA ile SA ilişkili savunma yanıtlarını baskılamaktadır (Yang vd., 2024). Benzer şekilde, *Sitobion miscanthi* türünde bulunan *Hamiltonella defensa*, JA ve SA sinyal yollarını baskılayarak buğdayın savunma mekanizmalarını zayıflatmakta ve afitlerin uyum başarısını artırmaktadır (Li vd., 2019). Bu simbiyotun *Rhopalosiphum padi* türünün beslenme davranışını iyileştirdiği, *Acyrthosiphon pisum* türünde ise parazitoitlere karşı koruma sağladığı da bildirilmiştir (Farhan vd., 2026). Diğer böceklerde simbiyotik bakterilerin toksik bitkisel metabolitleri detoksifiye edebildiği bilinmekle birlikte, bu mekanizmanın afitlerdeki rolünü doğrudan ortaya koyan çalışmalar henüz yetersizdir.

Virüs aracılı adaptasyon

Afitler tarafından taşınan bitki virüsleri, konak bitkilerin savunma mekanizmalarını, özellikle JA ve etilen (ET) sinyal yollarını baskılayarak bitkinin afitlere karşı direncini azaltmaktadır. Ayrıca virüs enfeksiyonu, bitkilerin uçucu organik bileşik (VOC) profillerini değiştirerek afitler için daha çekici hâle gelmelerine neden olmaktadır. Böylece afitlerin beslenme, çoğalma ve bitkiler arasında hareket etme başarısı artarken virüslerin yayılması da kolaylaşmaktadır (Farhan vd., 2026). Bu durum, bitki-afit-virüs etkileşiminin afit adaptasyonunu destekleyen önemli bir mekanizma olduğunu göstermektedir.

Efektör protein aracılı adaptasyon

Floem özsuyuyla beslenen afitler, tükürükleri aracılığıyla bitki savunma mekanizmalarını etkileyebilen efektör proteinler salgılamaktadır. Bu proteinler, bitkinin savunma yanıtlarını baskılayarak afitlerin beslenmesi, çoğalması ve konak bitkiye yerleşmesi için uygun bir ortam oluşturmaktadır (Yang vd., 2024). Bitki ve böcekler arasındaki genetik etkileşimi açıklayan zigzag modeline göre bitkiler, efektör moleküller gibi herbivor kaynaklı farklı molekülleri direnç genleri veya proteinleri (R) aracılığıyla tanıyarak savunma yanıtı geliştirebilmektedir. Soya fasulyesi *Aphis glycines* afitlerinin, bitkideki direnç genlerinin (R) etkisini aşabilecek adaptasyon mekanizmaları geliştirdiği belirlenmiştir. Bu süreçte belirli efektör proteinlerin rol oynadığı düşünülmekle birlikte, mekanizmanın ayrıntıları henüz tam olarak açıklanamamış ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Natukunda ve MacIntosh, 2020).

Bitkisel Sekonder Metabolitlerin Sekestrasyonu

Sekestrasyon, afitler gibi fitofag böceklerin bitkisel sekonder metabolitleri beslenme yoluyla alarak vücutlarında biriktirdiği ve bu bileşiklerden adaptif avantaj sağladığı bir mekanizmadır (Zhang vd., 2016). Bu bileşikler bağırsak veya hemolenfte depolanabilmekte, taşınmalarında ise ABC taşıyıcı proteinlerinin rol oynadığı düşünülmektedir (Farhan vd., 2026). Örneğin, lahana afidi *Brevicoryne brassicae* glukozinolatları biriktirerek doğal düşmanlarına karşı kimyasal savunma geliştirirken, bezelye afidi *Acyrthosiphon pisum* L-DOPA'yı nesiller arasında aktararak UV ışınlarına karşı korunma ve yara iyileşmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca sekestrasyon düzeyi, afitlerin konak bitkiye özelleşme derecesine ve bitkideki toksik bileşiklerin miktarına bağlı olarak değişebilmektedir (Farhan vd., 2026). Genel olarak sekestrasyon, afitlerin bitkisel savunma bileşiklerini kendi lehlerine kullanarak hem çevresel koşullara uyum sağlamalarını hem de doğal düşmanlara karşı korunmalarını sağlayan önemli bir adaptasyon mekanizmasıdır. Bununla birlikte, bu sürecin moleküler temelleri henüz tam olarak aydınlatılamamıştır.

Davranışsal Adaptasyon

Afitler, bitkisel sekonder metabolitlerin olumsuz etkilerinden kaçınmak için konak bitki seçimi ve beslenme davranışlarını değiştirebilmektedir. Beslenme öncesinde ve sırasında kimyasal bileşikleri algılayarak sekonder metabolit içeriği düşük, besin değeri yüksek bitkileri tercih etmekte; toksik bileşiklerle karşılaştıklarında stiletlerini geri çekerek beslenmeyi durdurabilmektedir (Hopkins vd., 2017; Afroz vd., 2021; Nalam vd., 2021). Örneğin, *Aphis gossypii* yüksek savunma tepkisi gösteren karpuz çeşitlerinden kaçınırken (Mou vd., 2023; Zhang vd. 2024b), *Acyrthosiphon pisum* ve *A. gossypii* farklı konak bitkilere uyum sağlayan biyotiplerine göre beslenme tercihleri geliştirmektedir. Genel olarak afitler, konukçu değişimi ve seçici beslenme yoluyla bitkisel savunmadan kaçınabilmektedir. Ancak farklı bitki dokularının tercih edilmesinde BSM'lerin rolü ve bu bileşiklerin kanatlı birey oluşumunu tetikleyip tetiklemediği henüz net olarak ortaya konulmamıştır (Farhan vd., 2026).

2. SONUÇ

Bu derleme, afitlerin bitkisel sekonder metabolitlerle etkileşimlerini incelemekte ve BSM'lerin

fitofag böceklerin beslenme faaliyetlerini sınırlandırmadaki rolüne ilişkin bulguları değerlendirmektedir. Afitler, çeşitli direnç mekanizmaları sayesinde bitkisel toksik bileşiklerin etkilerini aşabilmektedir. Bu mekanizmalar arasında bileşiklerin detoksifikasyonunu sağlayan sitokrom P450 enzimleri, glutatyon S-transferazlar (GST'ler) ve karboksilesterazlar; oksidatif hasara karşı koruma sağlayan süperoksit dismutaz ve katalaz enzimleri ile bitkisel toksinlerin hücre dışına taşınmasını sağlayan ATP-bağlayıcı kaset (ABC) taşıyıcıları yer almaktadır. Özellikle *Hamiltonella defensa* ve *Serratia symbiotica* gibi endosimbiyotik bakteriler, bitki savunma yanıtlarını düzenleyerek afitlerin direnç mekanizmalarını güçlendirebilmektedir. Ayrıca afitler; savunma sinyallerini etkisizleştiren tükürük proteinleri, toksinlerin sekestrasyonu ve avcılara karşı kullanılması, bitki direncini zayıflatan virüslerin yayılımına aracılık etme ve düşük BSM içeriğine sahip dokuları tercih etme gibi farklı stratejiler geliştirmiştir. Bu sürekli evrimsel mücadele karşısında afitlerin sürdürülebilir kontrolü, geniş spektrumlu insektisit kullanımının ötesine geçilmesini ve BSM profilleri optimize edilmiş afit dirençli bitki çeşitlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Moleküler ıslah yöntemleriyle yabani bitki gen kaynaklarındaki direnç özelliklerinin kültür çeşitlerine aktarılması mümkündür. Yüksek çözünürlüklü genom haritalama ve hedefe yönelik fonksiyonel gen belirleme gibi moleküler ıslah teknolojilerindeki gelişmeler, afitlere dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Afitlerin evrimsel adaptasyon mekanizmalarına ilişkin bilgilerle birleştirilen hedefe yönelik BSM düzenlemeleri, dünya genelindeki tarımsal ekosistemlerde sürdürülebilir ve uzun süreli bitki direncinin sağlanmasına katkıda bulunabilir.

KAYNAKLAR

Afroz, M., Rahman, M. M., & Amin, M. R. (2021). Insect Plant Interaction with Reference to Secondary Metabolites: A Review. Agricultural Reviews, 42(4), 427.

Ahmed, E., Arshad, M., Khan, M. Z., Amjad, M. S., Sadaf, H. M., Riaz, I., ... & Ahmad, N. (2017). Secondary metabolites and their multidimensional prospective in plant life. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6(2), 205-214.

Cantó-Tejero, M., Guirao, P., & Pascual-Villalobos, M. J. (2022). Aphicidal activity of farnesol against the green peach aphid-*Myzus persicae*. Pest management science, 78(6), 2714-2721.

Chamani, M., Dadpour, M., Dehghanian, Z., Panahirad, S., Chenari Bouket, A., Oszako, T., & Kumar, S. (2025). From digestion to detoxification: exploring plant metabolite impacts on insect enzyme systems for enhanced pest control. Insects, 16(4), 392.

Crossley, M. S., Smith, O. M., Davis, T. S., Eigenbrode, S. D., Hartman, G. L., Lagos-Kutz, D., ... & Snyder, W. E. (2021). Complex life histories predispose aphids to recent abundance declines. Global change biology, 27(18), 4283-4293.

Czerniewicz, P., & Chrzanowski, G. (2021). The effect of *Santolina chamaecyparissus* and *Tagetes patula* essential oils on biochemical markers of oxidative stress in aphids. Insects, 12(4), 360.

Döring, T. F. (2014). How aphids find their host plants, and how they don't. Annals of Applied Biology, 165(1), 3-26.

Durak, R., Molon, M., Durak, T., & Chrzanowski, G. (2018). The enzymatic markers of the adaptation of *Cinara tujafilina* to changing the host plant. Ethology Ecology & Evolution, 30(5), 416-429.

Edelson, J. V., Duthie, J., & Roberts, W. (2002). Toxicity of biorational insecticides: activity against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer). Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 58(3), 255-260.

Ertunc, F. (2020). Emerging plant viruses. In Emerging and reemerging viral pathogens (pp.

1041-1062). Academic Press.
Farhan, M., Pan, J., Hussain, H., Zhao, J., Yang, H., Ahmad, I., & Zhang, S. (2024). Aphid-resistant plant secondary metabolites: types, insecticidal mechanisms, and prospects for utilization. Plants, 13(16), 2332.
Farhan, M., Pan, J., Zhao, J., Yang, H., & Zhang, S. (2026). Aphid adaptation to plant secondary metabolites: adaptive mechanism of resistance evolution and future prospects. Horticulture Research, 13(1), uhaf269.
Favret, C. 2025. Aphid Species File. (Accessed 5 November 2026). http://Aphid.SpeciesFile.org
Fu, X., Xue, C., Wang, X., Wang, A., Zhu, Y., Yang, Y., ... & Zhang, J. (2024). Two detoxification enzyme genes, CYP6DA2 and CarFE4, mediate the susceptibility to afidopyropen in *Semiaphis heraclei*. Frontiers in Physiology, 15, 1478869.
Gao, X., Zhu, X., Wang, C., Wang, L., Zhang, K., Li, D., ... & Cui, J. (2022). Silencing of cytochrome P450 gene AgoCYP6CY19 reduces the tolerance to host plant in cotton-and cucumber-specialized aphids, *Aphis gossypii*. Journal of agricultural and food chemistry, 70(39), 12408-12417.
Gao, J., Tao, T., Arthurs, S. P., Ye, F., An, X., Hussain, M., & Mao, R. (2023). Plant jasmonic acid mediated contrasting effects of two citrus aphid species on *Diaphorina citri* Kuwayama. Pest Management Science, 79(2), 811-820.
Gonzalez-Gonzalez, A., Cabrera, N., Rubio-Meléndez, M. E., Sepúlveda, D. A., Ceballos, R., Fernández, N., ... & Ramirez, C. C. (2024). Facultative endosymbionts modulate the aphid reproductive performance on wheat cultivars differing in contents of benzoxazinoids. Pest Management Science, 80(4), 1949-1956.
Gupta, G., Agarwal, U., Kaur, H., Kumar, N. R., & Gupta, P. (2017). Aphicidal effects of terpenoids present in *Citrus limon* on *Macrosiphum roseiformis* and two generalist insect predators. Journal of Asia-Pacific Entomology, 20(4), 1087-1095.
Hopkins, D. P., Cameron, D. D., & Butlin, R. K. (2017). The chemical signatures underlying host plant discrimination by aphids. Scientific Reports, 7(1), 8498.
Kettles, G. J., Drurey, C., Schoonbeek, H. J., Maule, A. J., & Hogenhout, S. A. (2013). Resistance of *Arabidopsis thaliana* to the green peach aphid, *Myzus persicae*, involves camalexin and is regulated by micro RNA s. New Phytologist, 198(4), 1178-1190.
Khurshid, A., Inayat, R., Tamkeen, A., Ul Haq, I., Li, C., Boamah, S., ... & Liu, C. (2021). Antioxidant enzymes and heat-shock protein genes of green peach aphid (*Myzus persicae*) under short-time heat stress. Frontiers in Physiology, 12, 805509.
Lei, J., & Zhu-Salzman, K. (2015). Enhanced aphid detoxification when confronted by a host with elevated ROS production. Plant Signaling & Behavior, 10(4), e1010936.
Li, Q., Fan, J., Sun, J., Zhang, Y., Hou, M., & Chen, J. (2019). Anti-plant defense response strategies mediated by the secondary symbiont *Hamiltonella defensa* in the wheat aphid *Sitobion miscanthi*. Frontiers in microbiology, 10, 2419.
Li, H., Xu, L., Wu, W., Peng, W., Lou, Y., & Lu, J. (2023). Infestation by the piercing–sucking herbivore *Nilaparvata lugens* systemically triggers JA-and SA-dependent defense responses in Rice. Biology, 12(6), 820.
Liu, X., Hussain, S., Xie, W., Guo, Z., Wu, Q., Wang, S., ... & Zhang, Y. (2021). Ca2+ signal contributing to jasmonic acid-induced direct and indirect defense against the whitefly *Bemisia tabaci* in tomato plants. Entomologia Experimentalis et Applicata, 169(9), 848-858.
Liu, L., Hong, B., Wei, J. W., Wu, Y. T., Song, L. W., & Wang, S. S. (2022). Transcriptional response and functional analysis of ATP-binding cassette transporters to tannic acid in pea

aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Harris). International journal of biological macromolecules, 220, 250-257.
Lv, N., Li, R., Cheng, S., Zhang, L., Liang, P., & Gao, X. (2023). The gut symbiont *Sphingomonas* mediates imidacloprid resistance in the important agricultural insect pest *Aphis gossypii* Glover. BMC biology, 21(1), 86.
Lyubenova, A., Georgieva, L., & Antonova, V. (2023). Utilization of plant secondary metabolites for plant protection. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 37(1), 2297533.
Ma, K., Tang, Q., Liang, P., Xia, J., Zhang, B., & Gao, X. (2019). Toxicity and sublethal effects of two plant allelochemicals on the demographical traits of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). PLoS One, 14(11), e0221646.
Mota-Sanchez, D., & Wise, J. C. (2025). The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University, East Lansing, MI, USA. Retrieved September 2025, from http://www.pesticideresistance.org.
Mou, D. F., Kundu, P., Pingault, L., Puri, H., Shinde, S., & Louis, J. (2023). Monocot crop–aphid interactions: plant resilience and aphid adaptation. Current opinion in insect science, 57, 101038.
Nalam, V. J., Han, J., Pitt, W. J., Acharya, S. R., & Nachappa, P. (2021). Location, location, location: feeding site affects aphid performance by altering access and quality of nutrients. PLoS One, 16(2), e0245380.
Natukunda, M. I., & MacIntosh, G. C. (2020). The resistant soybean-*Aphis glycines* interaction: current knowledge and prospects. Frontiers in Plant Science, 11, 1223.
Olcabey Ergin, G., Öztürk, A., & Görür, G. (2022). Evaluation of interactions among aphids, endosymbionts, and host plants: a foresight for the future. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 53(2), 133-139.
Olcabey Ergin, G., Bozkurt, Y., Başer, G., Canpolat, E. Y., Görür, G., & Öztürk, A. (2024). Effect of honeydew secreted by *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) on fungal growth. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 12(s4), 2817-2822.
Olcabey Ergin, G. (2025). Determined aphid species from Ardahan Province with three new records for Türkiye aphid (Hemiptera: Aphidoidea) fauna. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 26(1), 12-19.
Payton Miller, T. L., & Rebek, E. J. (2018). Banker plants for aphid biological control in greenhouses. Journal of Integrated Pest Management, 9(1), 9.
Prado, S. G., Jandricic, S. E., & Frank, S. D. (2015). Ecological interactions affecting the efficacy of *Aphidius colemani* in greenhouse crops. Insects, 6(2), 538-575.
Singh, K. S., Troczka, B. J., Duarte, A., Balabanidou, V., Trissi, N., Carabajal Paladino, L. Z., ... & Bass, C. (2020). The genetic architecture of a host shift: An adaptive walk protected an aphid and its endosymbiont from plant chemical defenses. Science Advances, 6(19), eaba1070.
Singh, K. S., Cordeiro, E. M., Troczka, B. J., Pym, A., Mackisack, J., Mathers, T. C., ... & Bass, C. (2021). Global patterns in genomic diversity underpinning the evolution of insecticide resistance in the aphid crop pest *Myzus persicae*. Communications Biology, 4(1), 847.
Smith, G. H., Roberts, J. M., & Pope, T. W. (2018). Terpene based biopesticides as potential alternatives to synthetic insecticides for control of aphid pests on protected ornamentals. Crop Protection, 110, 125-130.
Wang, W., Yu, Z., Meng, J., Zhou, P., Luo, T., Zhang, J., ... & Lou, Y. (2020). Rice phenolamindes reduce the survival of female adults of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera*. Scientific Reports, 10(1), 5778.

Wang, T., Wang, K., Wang, C., Zhao, Y., Tao, Z., Li, J., ... & Li, P. (2023). Combining quantitative trait locus mapping with multiomics profiling reveals genetic control of corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis*) resistance in maize. Journal of Experimental Botany, 74(12), 3749-3764.

Wasternack, C., & Feussner, I. (2018). The oxylipin pathways: biochemistry and function. Annual review of plant biology, 69, 363-386.

War, A. R., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ahmad, T., Nair, R. M., & Sharma, H. C. (2020). Plant defense and insect adaptation with reference to secondary metabolites. In Co-evolution of secondary metabolites (pp. 795-822). Cham: Springer International Publishing.

Yang, X., Zhang, L., Li, Y., Liu, X., Chen, C., Deng, Y., ... & Chen, X. (2024). Fortifying crop defenses: unraveling the molecular arsenal against aphids. Horticulture Advances, 2(1), 22.

Zaynab, M., Fatima, M., Abbas, S., Sharif, Y., Umair, M., Zafar, M. H., & Bahadar, K. (2018). Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. Microbial pathogenesis, 124, 198-202.

Zhao, C., Ma, C., Luo, J., Niu, L., Hua, H., Zhang, S., & Cui, J. (2021). Potential of Cucurbitacin B and Epigallocatechin Gallate as Biopesticides against *Aphis gossypii*. Insects 2021, 12, 32.

Zhang, M., Fang, T., Pu, G., Sun, X., Zhou, X., & Cai, Q. (2013). Xenobiotic metabolism of plant secondary compounds in the English grain aphid, *Sitobion avenae* (F.)(Hemiptera: Aphididae). Pesticide Biochemistry and Physiology, 107(1), 44-49.

Zhang, Y., Wang, X. X., Zhang, Z. F., Chen, N., Zhu, J. Y., Tian, H. G., ... & Liu, T. X. (2016). Pea aphid *Acyrthosiphon pisum* sequesters plant-derived secondary metabolite L-DOPA for wound healing and UVA resistance. Scientific Reports, 6(1), 23618.

Zhang, S., Su, H., Jiang, W., Hu, D., Ali, I., Jin, T., ... & Ma, X. (2021). Symbiotic microbial studies in diverse populations of *Aphis gossypii*, existing on altered host plants in different localities during different times. Ecology and Evolution, 11(20), 13948-13960.

Zhang, N., Liu, D., Zhai, Y., Li, X., & Simon, J. C. (2022). Functional divergence of three glutathione transferases in two biotypes of the English grain aphid, *Sitobion avenae*. Entomologia experimentalis et applicata, 170(1), 79-87.

Zhang, L., Chen, C., Li, Y., Suo, C., Zhou, W., Liu, X., ... & Yang, X. (2024a). Enhancing aphid resistance in horticultural crops: a breeding prospective. Horticulture Research, 11(12), uhae275.

Zhang, Y., Zhang, Y., Chen, A., Huo, R., Yan, H., Zhang, Z., & Guo, H. (2024b). Callose deposition regulates differences in cotton aphid resistance among six watermelon varieties. Journal of Pest Science, 97(4), 2019-2034.

GREENMETRIC ARAŞTIRMALARININ BİLİMSEL ANALİZİ

Öğr. Gör. Osman ÖZEN
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gediz Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Programı, Kütahya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4370-4281

ÖZET
Greenmetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendiren uluslararası bir sıralama sistemi olup bu alandaki akademik araştırmaların gelişimi giderek önem kazanmaktadır. Bu araştırmanın amacı, greenmetric alanında yayımlanmış eserleri bibliyometrik bir bakış açısıyla değerlendirmektir.
Araştırmanın verileri Scopus veri tabanından 10 Ekim 2026 tarihinde elde edilmiştir. Eser taranmasında "başlık, anahtar kelime ve özet" içinde "UI GreenMetric", "GreenMetric World University Ranking" ve "GreenMetric" ifadelerin birlikte geçtiği çalışmalar araştırılmıştır. Bu kriterleri taşıyan 209 eser incelemeye alınmıştır. Verilerin analizinde VOSviewer 1.6.21 programı kullanılmıştır. VOSviewer programında kümeleme, yoğunluk ve haritalama analizleri yapılmıştır. Bu alanda ilk eserin 2013 yılında yayımlandığı, en fazla eserin (f=53) 2026 yılında yayımlandığı ve en fazla yayın türünün makale (f=110) olduğu belirlenmiştir. En çok yayın yapan ülke Endonezya (f=13)'dir.
Sonuç olarak, GreenMetric alanındaki akademik çalışmaların özellikle son yıllarda belirgin biçimde arttığı ve sürdürülebilirlik odaklı araştırmaların giderek önem kazandığı görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Bibliyometrik analiz, UI Greenmetric, Yeşil Kampüs

SCIENTIFIC ANALYSIS OF GREENMETRIC RESEARCH

ABSTRACT
Greenmetric is an international ranking system that evaluates the sustainability performance of universities, and the development of academic research in this field is becoming increasingly important. The aim of this research is to evaluate published works in the field of greenmetric from a bibliometric perspective. The data for the research was obtained from the Scopus database on October 10, 2026. In the search for works, studies in which the terms "UI GreenMetric", "GreenMetric World University Ranking" and "GreenMetric" appeared together in the "title, keyword and abstract" were examined. 209 works meeting these criteria were included in the analysis. VOSviewer 1.6.21 program was used for data analysis. Clustering, density and mapping analyses were performed in the VOSviewer program. It was determined that the first work in this field was published in 2013, the highest number of works (f=53) were published in 2026, and the most common type of publication was articles (f=110). The country with the most publications is Indonesia (f=13). In conclusion, it has been observed that academic studies in the field of GreenMetric have increased significantly, especially in recent years, and sustainability-focused research is gaining increasing importance.
Keywords: Bibliometric analysis, UI Greenmetric, Green Campus

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla günümüzde yükseköğretim kurumlarının temel gündemlerinden biri hâline gelmiştir. Üniversiteler, eğitim ve araştırma faaliyetlerinin yanı sıra sahip oldukları kampüsler, enerji ve su kullanımları, atık yönetimi, ulaşım uygulamaları ve sürdürülebilirlik politikaları aracılığıyla çevresel sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Bu doğrultuda, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması amacıyla greenmetric sıralama sistemleri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarının akademik başarı ve küresel üniversite sıralamalarındaki konumlarıyla ilişkisi, yeşil üniversite yaklaşımının yükseköğretimdeki önemini ortaya koyan araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir (Atıcı ve arkadaşları, 2021).

UI Greenmetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik alanındaki uygulamalarını ve çevresel performanslarını değerlendirmeye yönelik uluslararası bir sıralama sistemidir. Üniversitelerin sürdürülebilir kampüs uygulamalarını farklı göstergeler üzerinden değerlendiren UI Greenmetric, yükseköğretim kurumlarının sürdürülebilirlik performanslarının görünür hâle getirilmesine ve kurumların bu alandaki gelişimlerinin karşılaştırılmasına katkı sağlamaktadır. UI Greenmetric'in yükseköğretim kurumlarının sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılması, konuya ilişkin akademik çalışmaların da artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, Greenmetric alanındaki bilimsel yayınların yıllara göre gelişimi, araştırma eğilimleri, yayın türleri, araştırmacılar, kurumlar, fon sağlayıcılar ve bilimsel iş birlikleri açısından bütüncül olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmaların ortaya konulması önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın amacı, UI Greenmetric alanında yayımlanan bilimsel eserleri bibliyometrik bir bakış açısıyla inceleyerek alanın bilimsel gelişimini ve temel araştırma eğilimlerini ortaya koymaktır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Yöntemi

Bu araştırmada bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda; yazarlar, kurumlar, ülkeler, belgeler, dergiler ve anahtar kelimeler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde haritalama ve kümeleme tekniklerinden yararlanılmaktadır. Söz konusu teknikler, bilimsel bilgi ağlarının yapısının ve bu ağlar içerisindeki ilişkilerin görselleştirilmesine ve yorumlanmasına olanak sağlamaktadır (Waltman et al., 2010). Bibliyometrik analiz aracılığıyla belirli bir bilimsel alanda hangi konuların öne çıktığı, araştırma temalarının birbiriyle nasıl ilişkilendiği, hangi yazar, kurum ve ülkelerin alana katkı sağladığı ve araştırma konularının zaman içerisinde nasıl değiştiği belirlenebilmektedir. (Donthu et al., 2021).

Bu araştırmada bibliyometrik analiz, Greenmetric araştırmalarının bilimsel yapısını ve gelişim eğilimlerini ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Bu doğrultuda yayınların yıllara göre dağılımı, en üretken yazarlar, ülkeler ve kurumlar, atıf ilişkileri, ortak yazarlık ağları ve anahtar kelime kümeleri incelenmiştir.

2.2. Veri Toplama Yöntemi

Bibliyometrik analiz kapsamında kullanılan veriler, Scopus veri tabanlarında gerçekleştirilen son arama sonrasında 10 Ekim 2026 tarihinde dışa aktarılmış ve analizler bu veri seti üzerinden yürütülmüştür.

Scopus veri tabanında yayınlanan yayınlar üzerinde yapılmıştır. Scopus veri tabanında başlık (Title), özet (Abstract) ve anahtar kelimeler (Keywords) alanlarında "UI GreenMetric", "GreenMetric World University Ranking" veya "GreenMetric" ifadelerinden en az birinin geçtiği çalışmalar taranmıştır. Bu kriterleri taşıyan 209 eser incelemeye alınmıştır. Bu

kapsamda, aşağıdaki arama sorgusu kullanılmıştır: TITLE-ABS-KEY (“UI GreenMetric” OR “GreenMetric World University Ranking” OR “GreenMetric”).

2.3. İstatistik

Verilerin analizinde WOSviewer 1.6.21 programı kullanılmıştır**.** Bu bağlamda yukarıda açıklanan atıf (dergi, yazar, kurum ve belge), ortak yazar (kurum), ortak atıf (yazar) analizlerinden yararlanılmıştır. WOSviewer programında kümeleme, yoğunluk ve haritalama analizleri yapılmıştır. Excel programında ise verilerin frekans, yüzdelerinin tablosu ve grafikler oluşturulmuştur.

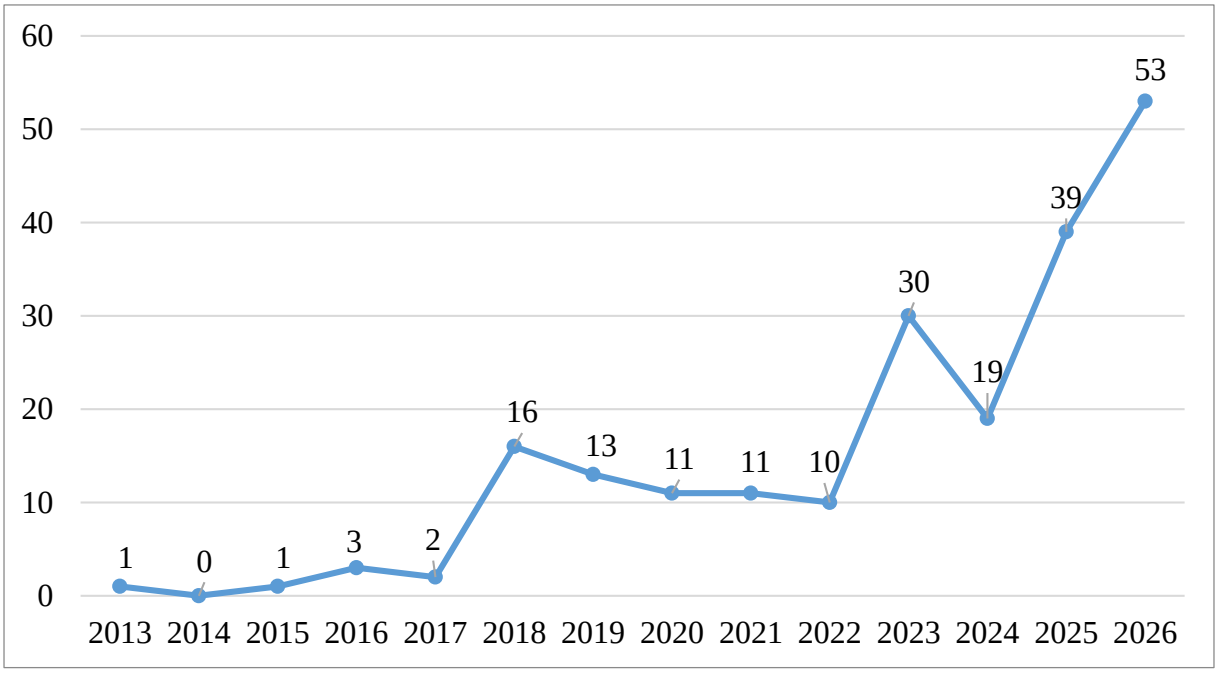
Analiz değerlendirmesinde “overlay visualization” analizinde, öğelerin renkleri puanlarına göre belirlenmektedir. Varsayılan olarak renkler mavi en düşük puan, yeşile orta puan, ve sarı en yüksek puanı ifade etmektedir. Network visualization analizinde ise bir öğenin ağırlığı artıkça, ilgili öğeye ait çemberin ve etiketin boyutu büyümektedir. İki öğe arasında bağlantının gücü artıkça, öğeler arasındaki bağlantıyı gösteren çizgiler kalınlaşmaktadır (Van Eck ve Waltman, 2023).

2.4. Etik

Bu çalışmada kullanılan veriler daha önce yayınlanmış olan akademik çalışmalara ait olduğu için etik kurul onayı gerektirmemektedir. Araştırma süresince etik ilkelere uygun davranılmıştır.

3. BULGULAR

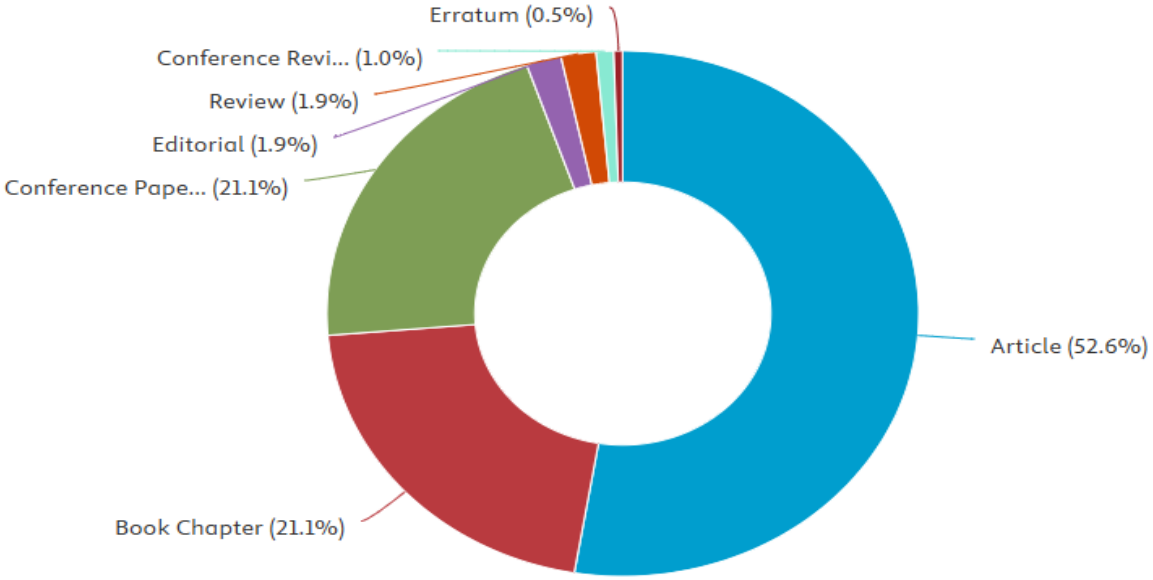
Scopus veri tabanında “başlık, anahtar kelime ve özet” içinde “UI GreenMetric”, “GreenMetric World University Ranking” veya “GreenMetric” kelimeleri geçen çalışmalar aratıldığında yayımlanan ilk çalışmanın 2013 yılında yayınlandığı belirlenmiştir. En çok yayının (n=53) 2026 yılında yayımlandığı saptanmıştır. Şekil 1 incelendiğinde yayın sayısında dalgalanmalar olsa da sürekli olarak artmaktadır.



Şekil 1. Yıllara göre yayın sayısı

Eserlerin Türlerine Göre Dağılımı

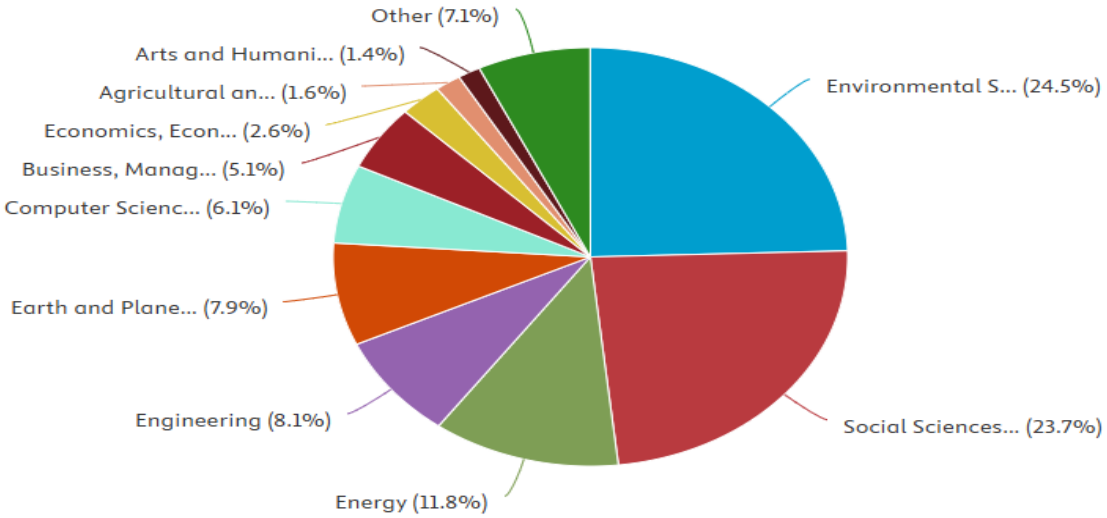
Greenmetric konusunda yayınlanan eser türlere göre dağılımı grafik 1’de verilmiştir. Bu konuda en çok yayınlanan eser türleri; makale (f=110), kitap bölümü (f=44) ve konferans bildirisi (f=44) olduğu belirlenmiştir.



Grafik 1. Eser türleri

Eserlerin Konularına Göre Dağılımı

Greenmetric konusu kapsamında yayınlanan eserlerin konu alanlarına göre dağılımı grafik 2'de verilmiştir. Eserlerin konu alanları incelendiğinde, en fazla yayının çevre bilimi alanında (f=121) gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunu sosyal bilimler (f=117), enerji (f=58) ve mühendislik (f=40) alanları takip etmektedir.

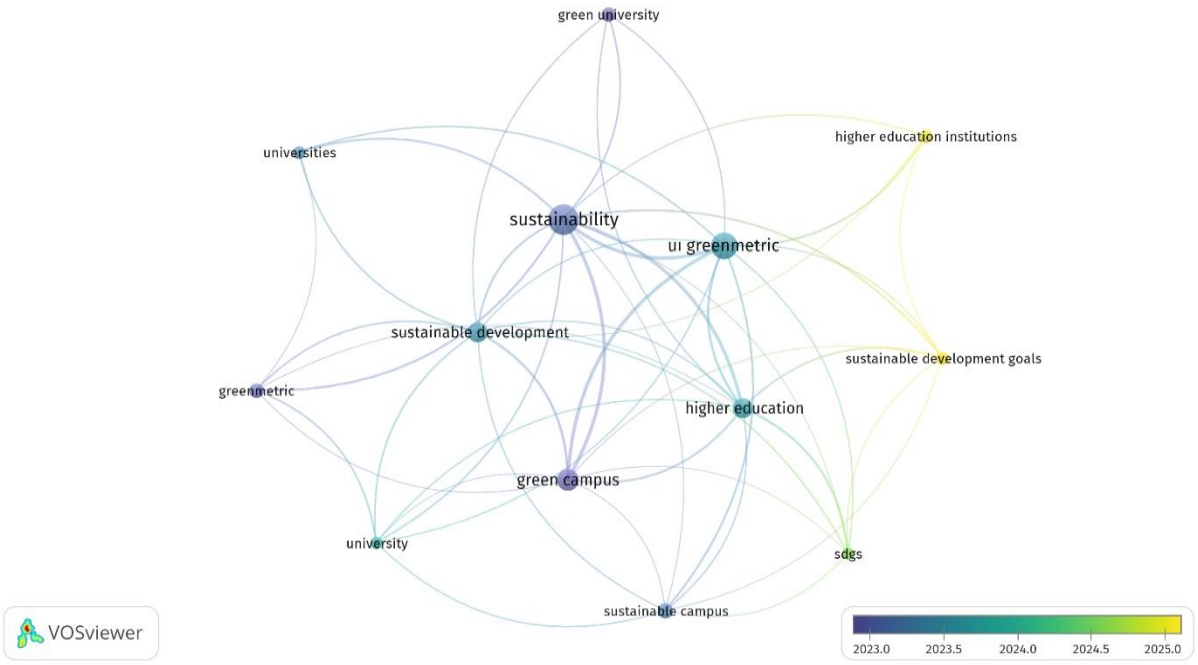


Grafik 2. Eserin konu dağılımı

Anahtar Kelime Analizi

Şekil 2'de anahtar kelime ağ haritası gösterilmiştir. "UI GreenMetric", "GreenMetric World University Ranking" veya "GreenMetric" ile kullanılan anahtar kelimeleri bir ağ haritası üzerinde göstermek için "eş zamanlılık analizi (co-occurrence analysis)" yapılmıştır ve "yazar anahtar sözcükleri (author keywords)" seçilmiştir. Bir anahtar kelimenin minimun tekrar sayısı 9 olarak seçilmiş ve birbiri ile ilişkili 527 anahtar kelimeden program tarafından 13 anahtar kelime analize tabii tutulmuştur. Oluşturulan harita incelendiğinde, en çok kullanılan anahtar kelimelerin "sustainability" (f=53), "ui greenmetric" (f=41), "green campus" (f=28), "higher education" (f=24) ve "sustainable development" (f=23) olduğu belirlenmiştir. Şekil üzerinde

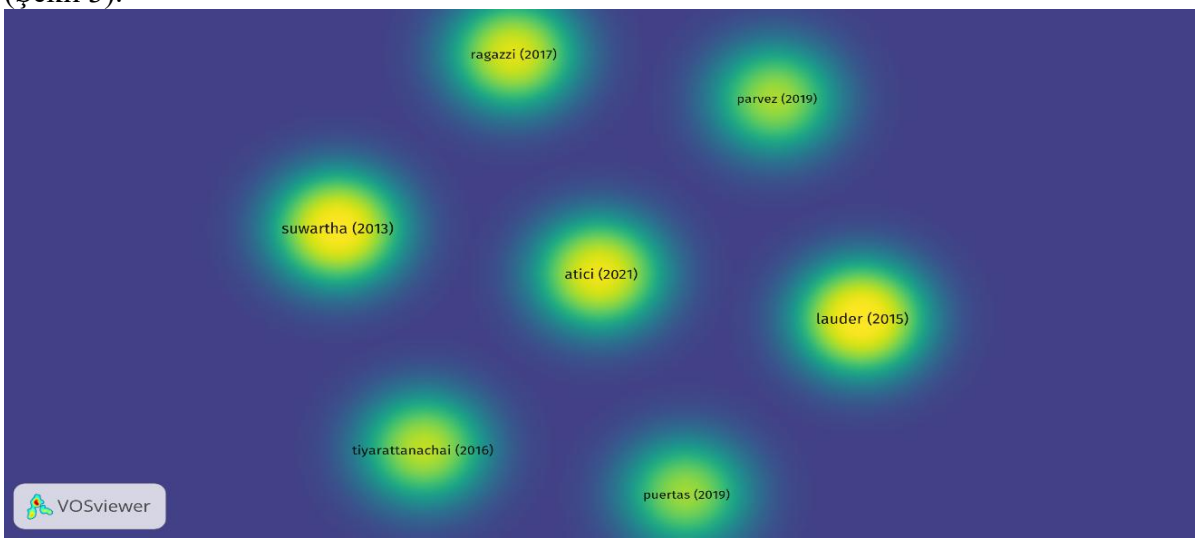
sarı renkte gösterilen anahtar kelimeler son yıllarda kullanılan anahtar kelimelerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Anahtar kelime ağ haritası

Eser Atıf Analizi

Greenmetric konu ile ilgili Scopus veri tabanında yayınlanan eserlerden en çok hangi yayınlara atıf yapıldığını belirlemek için "citations" ve "documents" seçeneği seçilerek yoğunluk görselleştirmesi (density visualization) analizi yapılmıştır. Doküman başına yapılan minimum atıf sayısı "70" olarak seçildi, bu şartı sağlayan 7 doküman analize tabi tutuldu. Atıf ağ analiz sonucuna göre en çok atıf alan eser yoğunluğunun sarı renkli alanlarda olduğu görülmektedir. Bu kapsamda en çok atıf alan eserler Lauder (2015) (f=171), Suwartha (2013) (f=162), Atıcı (2021) (f=131), Ragazzi (2017) (f=114) ve Tiyarattanachai (2016) (f=88) olarak belirlendi (Şekil 3).



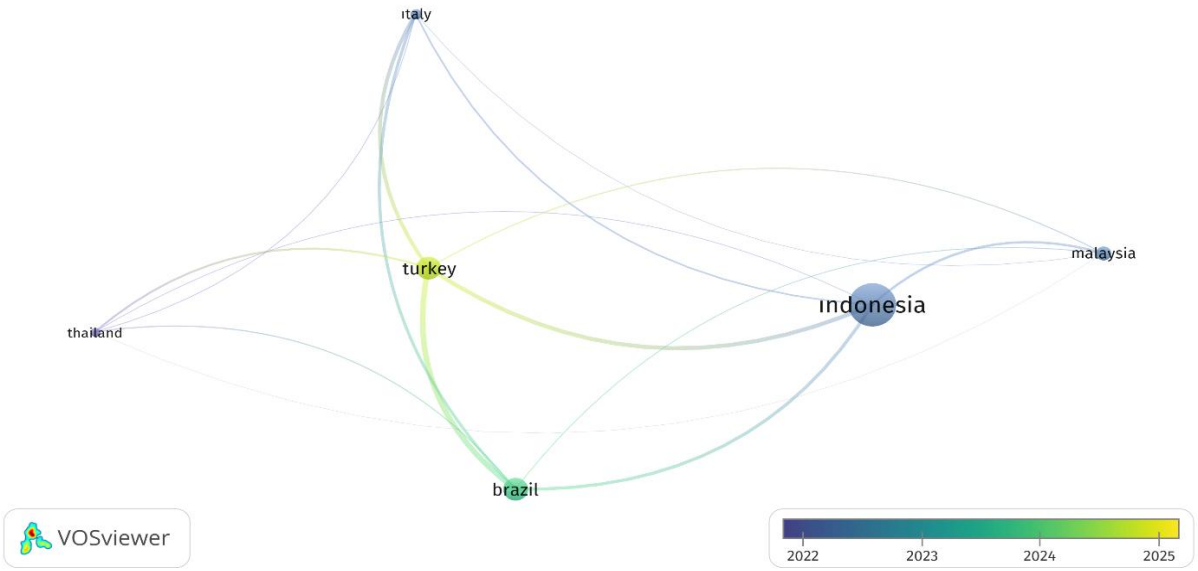
Şekil 3. Yayın atıf analiz ağ haritası

Lauder ve arkadaşları (2015), GreenMetric sıralamasını üniversitelerin kampüs

sürdürülebilirliğini değerlendirme yaklaşımı açısından eleştirel olarak inceleyerek sıralamanın göstergelerini, metodolojisini ve uygulanabilirliğini değerlendirmiştir. Çalışmada GreenMetric'in üniversitelerin sürdürülebilirlik performansının görünür kılınmasına katkı sağladığı, ancak sıralama yönteminin geliştirilmesi gereken bazı yönlerinin bulunduğu ortaya konulmuştur. Suwartha ve Sari (2013) UI GreenMetric'in 2011 sıralamasını değerlendirerek üniversitelerin yeşil ve sürdürülebilir kampüs gelişimini desteklemede kullanılabilecek bir araç olarak uygunluğunu incelemiştir. Atıcı ve arkadaşları (2021), UI GreenMetric sıralaması ile dünya üniversite sıralamaları arasındaki ilişkiyi inceleyerek yeşil üniversite uygulamalarının akademik performansla ilişkisini ampirik olarak değerlendirmiştir. Ragazzi ve Ghidini (2017), üniversitelerin çevresel sürdürülebilirliğini yeşil üniversite sıralaması üzerinden eleştirel olarak değerlendirirken, Tiyarattanachai ve Hollmann (2016) yeşil kampüs girişiminin yeşil ve yeşil olmayan üniversitelerdeki paydaşların yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

Araştırma Ülkelerinin Bibliyografik Bağlantı Analizi

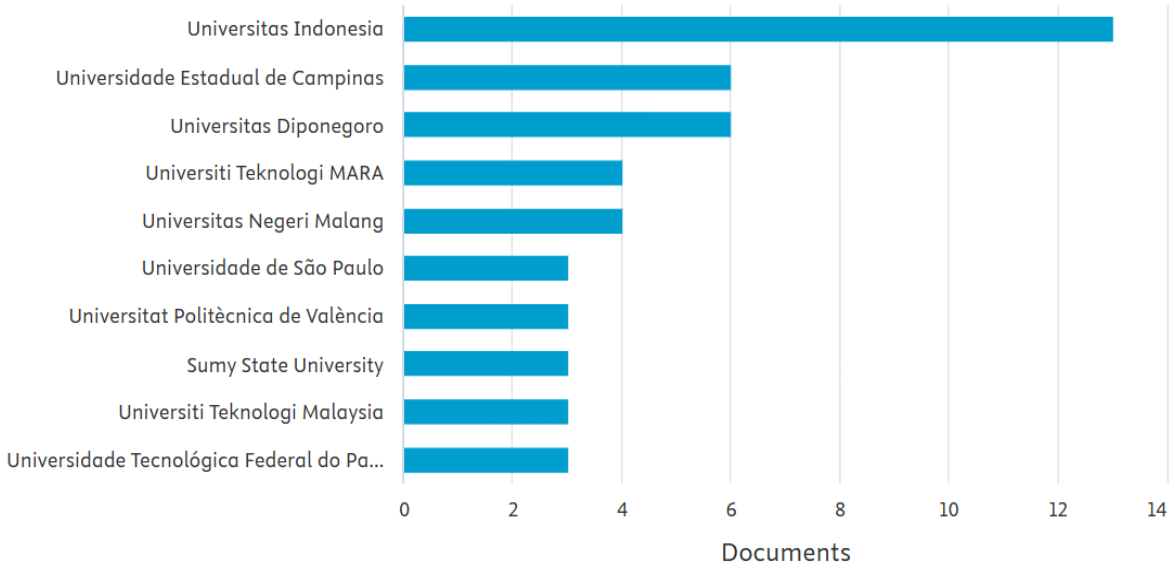
Greenmetric konusunda araştırma yürüten ülkeleri analiz etmek için "bibliographic coupling" ve "countries" seçenekleri seçilerek overlay visualization analizi yapılmıştır. Ülke başına yapılan minimum yayın sayısı "10", atıf sayısı "10" olarak seçildi, bu şartı sağlayan 63 ülkeden program tarafından seçilen 6 ülkeye ait veriler analize tabi tutuldu. Analiz sonuçları Şekil 4'te gösterildi. En çok yayına sahip ülkeler sırasıyla Endonezya (f=49), Türkiye (f=26), Brezilya (f=26), Malezya (f=16) ve İtalya (f=12) olduğu belirlenmiştir. Bu ağ haritası incelendiğinde en çok atıf yoğunluğuna sahip olan ülkenin Endonezya olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Ülkelere göre yayın dağılımı

Araştırma Yapan Kurumlar

Greenmetric konusunda araştırma en çok araştırma yapan kurumlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Greenmetric alanında en çok yayın yapan kurumun Universitas Indonesia (f=13) ve Universidade Estadual de Campinas (f=6) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. En çok araştırma yapan kurumlar

En Çok Fon Sağlayan Kurumlar

Yapılan araştırmada, Greenmetric alanında yayımlanan çalışmaların farklı kurumlar tarafından fon desteği sağlanmıştır. Araştırmalara fon desteği sağlayan kurumlar incelendiğinde en çok fon desteğinin (f=4) fon desteğiyle "Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior" tarafından gerçekleştirildiği belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Fon sağlayan kuruluşlar

Sıra	Fon sağlayıcı	Belge sayısı (f)	Yüzde (%)
1	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	4	15,38
2	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	3	11,54
3	Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat	3	11,54
4	Ministry of Higher Education, Malaysia	3	11,54
5	Universiti Teknologi MARA	3	11,54
6	European Commission	2	7,69
7	Ministry of Education and Science of Ukraine	2	7,69
8	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)	2	7,69
9	Universidade de São Paulo	2	7,69
10	Universitas Negeri Malang	2	7,69

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, UI GreenMetric alanındaki akademik çalışmalar bibliyometrik açıdan incelenerek yayın eğilimleri ve bilimsel ilişkiler değerlendirilmiştir. Scopus veri tabanından elde edilen 209 eser üzerinden gerçekleştirilen analiz sonucunda, ilk çalışmanın 2013 yılında yayımlandığı, yayın sayısının özellikle son yıllarda belirgin biçimde arttığı ve 2026 yılında 53 eser ile en yüksek yayın sayısına ulaşıldığı belirlenmiştir. Yayın türleri incelendiğinde ise çalışmaların ağırlıklı olarak makale türünde olduğu görülmüştür.

VOSviewer analizleri, Greenmetric araştırmalarının sürdürülebilirlik, yükseköğretim, yeşil kampüs ve sürdürülebilir kalkınma gibi kavramlar etrafında yoğunlaştığını göstermiştir.

Anahtar kelime analizinde sürdürülebilirlik ve UI Greenmetric kavramlarının öne çıkması, araştırmaların ağırlıklı olarak üniversitelerin çevresel performansı ve sürdürülebilir kampüs uygulamaları üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Kurumlar ve ülkeler arasındaki bilimsel ilişkiler değerlendirildiğinde ise Greenmetric araştırmalarının uluslararası ve kurumlar arası iş birlikleri çerçevesinde gelişen bir araştırma alanı olduğu görülmektedir.

Araştırma sonuçları doğrultusunda, gelecekte Greenmetric çalışmalarının yalnızca sıralama sonuçlarının değerlendirilmesine odaklanmak yerine, üniversitelerin sürdürülebilirlik performansını etkileyen uygulamaların ve politikaların daha ayrıntılı incelenmesine yönelmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, Greenmetric ile akademik performans, dijital dönüşüm, enerji verimliliği, karbon yönetimi, yeşil kampüs uygulamaları ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasındaki ilişkilerin daha kapsamlı biçimde araştırılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, Greenmetric alanındaki akademik yayınların özellikle son yıllarda hızlı bir gelişim gösterdiği ve sürdürülebilir yükseköğretim araştırmaları içerisinde giderek daha görünür hâle geldiği belirlenmiştir. Bu durum, Greenmetric'in üniversitelerin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi ve sürdürülebilir yükseköğretim araştırmalarının geliştirilmesi açısından önemli bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir.

Sınırlılıklar

Araştırma “UI GreenMetric”, “GreenMetric World University Ranking” ve “GreenMetric” kelime grubunu içeren ve Scopus veri tabanında taranan yayınlarla sınırlıdır. Araştırma sonuçları 10 Ekim 2026 tarihine kadar yayınlanmış eserlerle sınırlıdır.

KAYNAKLAR

Atıcı, K. B., Yaşayacak, G., Yıldız, Y., & Ulucan, A. (2021). Green university and academic performance: An empirical study on UI GreenMetric and World University Rankings. *Journal of Cleaner Production, 291*, 125289. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125289

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. Journal of Business Research, 133, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Lauder, A., Sari, R. F., Suwartha, N., & Tjahjono, G. (2015). Critical review of a global campus sustainability ranking: GreenMetric. *Journal of Cleaner Production, 108*(Part A), 852–863. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.080

Ragazzi, M., & Ghidini, F. (2017). Environmental sustainability of universities: Critical analysis of a green ranking. *Energy Procedia*, *119*, 111–120.

Suwartha, N., & Sari, R. F. (2013). Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: Assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production, 61*, 46–53.

Tiyarattanachai, R., & Hollmann, N. M. (2016). Green campus initiative and its impacts on quality of life of stakeholders in Green and Non-Green Campus universities. *SpringerPlus*, *5*, 84. https://doi.org/10.1186/s40064-016-1697-7

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). *VOSviewer Manual: Manual for VOSviewer version 1.6.20*. Universiteit Leiden. https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf

Waltman, L., Van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010). A Unified Approach to Mapping and Clustering of Bibliometric Networks. Journal of Informetrics, 4(4), 629–635. https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

İKLİM DİPLOMASİSİNİN KÜRESEL BİLİMSEL GÖRÜNÜMÜ

Öğr. Gör. Osman ÖZEN
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gediz Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Programı, Kütahya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4370-4281

ÖZET
İklim diplomasisi, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında ülkeler arasında yürütülen müzakereleri, uluslararası iş birliğini ve küresel iklim politikalarının geliştirilmesini kapsayan önemli bir araştırma alanıdır. Bu araştırmanın amacı, iklim diplomasisi alanında yayımlanmış eserleri bibliyometrik bir bakış açısıyla değerlendirmektir.
Araştırmanın verileri Scopus veri tabanından 28 Ekim 2026 tarihinde elde edilmiştir. Eser taranmasında "başlık, anahtar kelime ve özet" içinde "climate diplomacy" OR "climate diplomatic*" ifadelerin birlikte geçtiği çalışmalar araştırılmıştır. Bu kriterleri taşıyan 267 eser incelemeye alınmıştır. Verilerin analizinde VOSviewer 1.6.21 programı kullanılmıştır. VOSviewer programında kümeleme, yoğunluk ve haritalama analizleri yapılmıştır. Bu alanda ilk eserin 2006 yılında yayımlandığı, en fazla eserin (f=59) 2026 yılında yayımlandığı ve en fazla yayın türünün makale (f=148) olduğu belirlenmiştir. En çok yayın yapan ülke Amerika (f=26)'dir.
Sonuç olarak, iklim diplomasisi alanındaki akademik çalışmaların özellikle son yıllarda belirgin biçimde arttığı ve devletlerin iklim konusundaki diplomasi sürecine ait araştırmaların giderek önem kazandığı görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: İklim Diplomasisi, Bibliyometrik analiz, İklim

GLOBAL SCIENTIFIC OUTLOOK ON CLIMATE DIPLOMACY

ABSTRACT
Climate diplomacy is a significant area of research encompassing negotiations between countries, international cooperation, and the development of global climate policies in the fight against climate change. The aim of this research is to evaluate published works in the field of climate diplomacy from a bibliometric perspective.
Data for the research was obtained from the Scopus database on October 28, 2026. The search focused on works where the phrases "climate diplomacy" or "climate diplomatic*" appeared together in the title, keywords, and abstract. 267 works meeting these criteria were included in the analysis. VOSviewer 1.6.21 software was used for data analysis. Clustering, density, and mapping analyses were performed using VOSviewer. It was determined that the first work in this field was published in 2006, the highest number of works (f=59) were published in 2026, and the most common publication type was articles (f=148). The country with the most publications is the United States (f=26).
In conclusion, it has been observed that academic studies in the field of climate diplomacy have increased significantly, especially in recent years, and research on states' diplomatic processes regarding climate issues is gaining increasing importance.
Keywords: Climate diplomacy, bibliometric analysis, climate.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik, toplumsal ve siyasi boyutları bulunan, uluslararası iş birliğini gerektiren küresel bir sorun olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliğiyle mücadelede ülkelerin farklı önceliklere, ekonomik kapasitelere ve sorumluluk anlayışlarına sahip olması, ortak politikaların geliştirilmesini karmaşıklaştırmaktadır. Bu bağlamda iklim diplomasisi, devletler ve uluslararası aktörler arasında müzakerelerin yürütülmesi, ortak hedeflerin belirlenmesi ve iklim eylemine yönelik uluslararası taahhütlerin oluşturulması açısından önemli bir rol üstlenmektedir.

İklim diplomasisi, iklim değişikliğiyle mücadele ve değişen iklimin etkilerine uyum sağlama amacıyla devletlerin ve devlet dışı aktörlerin diplomatik araçlar, uluslararası müzakereler ve iş birliği mekanizmaları aracılığıyla ortak hedefler geliştirmesini ve uluslararası iklim politikalarını şekillendirmesini ifade etmektedir (Elliott, 2013; Sarno, 2022). İklim diplomasisinin temel dinamiklerinden biri, farklı ülkelerin ve uluslararası aktörlerin çıkarlarını ortak bir politika çerçevesinde uzlaştırabilmektir. Bu süreçte diplomatik stratejiler, uluslararası güç dengeleri ve aktörlerin müzakere kapasitesi, iklim politikalarına ilişkin hedeflerin belirlenmesini ve uygulanmasını etkileyebilmektedir.

İklim diplomasisine ilişkin bilimsel yayınların sistematik biçimde incelenmesi, alandaki temel araştırma konularının, etkili akademik aktörlerin ve uluslararası bilimsel iş birliği ağlarının belirlenmesine katkı sağlayabilir. Küresel iklim yönetişimi üzerine gerçekleştirilen bibliyometrik araştırmalar da bu alandaki yayınların gelişimini, iş birliği örüntülerini ve öne çıkan araştırma temalarını haritalandırmanın önemini ortaya koymaktadır (Li & Yaakop, 2025). Araştırmanın amacı, Scopus veri tabanında iklim diplomasisi kapsamında yayımlanan bilimsel çalışmaları bibliyometrik analiz yöntemiyle inceleyerek alanın bilimsel gelişimini, öne çıkan yazarları, kurumları ve ülkeleri, yayınlar arasındaki atıf ilişkilerini ve temel araştırma temalarını ortaya koymaktır. Ayrıca anahtar kelimeler arasındaki ilişkilerin ve tematik kümelerin incelenmesiyle iklim diplomasisi literatürünün mevcut yapısının belirlenmesi ve gelecekteki araştırmalara yönelik eğilimlerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Yöntemi

Bu araştırmada, bilimsel bilgi ağlarının yapısını ve ilişkilerini incelemek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Haritalama ve kümeleme teknikleri aracılığıyla araştırma temaları, yazarlar, kurumlar ve ülkeler arasındaki ilişkiler ile bilimsel eğilimlerin zaman içerisindeki değişimi ortaya konulmuştur (Waltman et al., 2010; Donthu et al., 2021). Bu çerçevede bibliyometrik analiz iklim diplomasisi araştırmalarının bilimsel yapısını ve gelişim eğilimlerini ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Bu doğrultuda yayınların yıllara göre dağılımı, en üretken yazarlar, ülkeler ve kurumlar, atıf ilişkileri, ortak yazarlık ağları ve anahtar kelime kümeleri incelenmiştir.

2.2. Veri Toplama Yöntemi

Bibliyometrik analiz kapsamında kullanılan veriler, Scopus veri tabanlarında gerçekleştirilen son arama sonrasında 28 Ekim 2026 tarihinde dışa aktarılmış ve analizler bu veri seti üzerinden yürütülmüştür. Scopus veri tabanında başlık (Title), özet (Abstract) ve anahtar kelimeler (Keywords) alanlarında “climate diplomacy” ve “climate diplomatic*” ifadelerinden en az birinin geçtiği çalışmalar taranmıştır. Bu kriterleri taşıyan 267 eser incelemeye alınmıştır. Bu kapsamda, aşağıdaki arama sorgusu kullanılmıştır: TITLE-ABS-KEY((“climate diplomacy” OR “climate diplomatic*”))

2.3. İstatistik

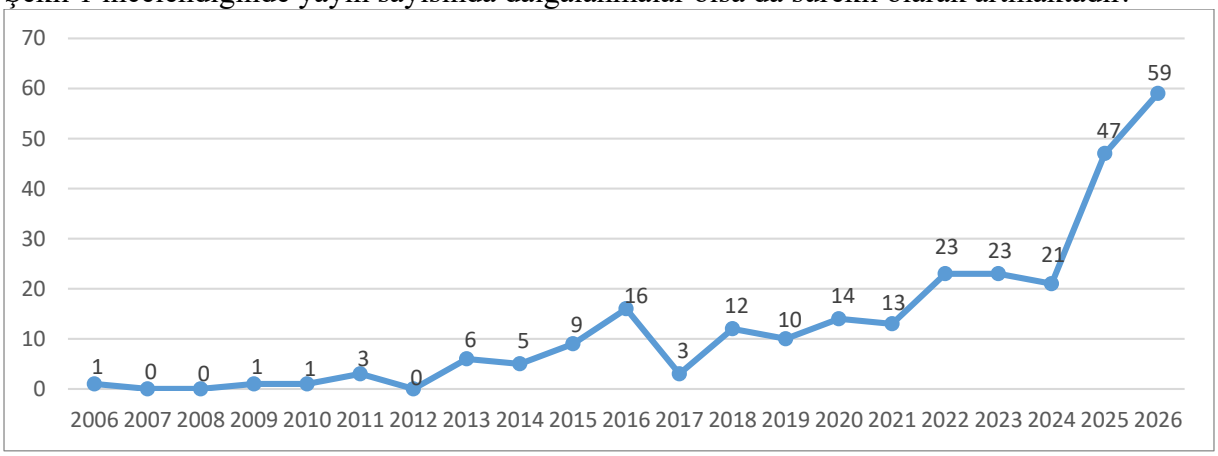
Verilerin analizinde VOSviewer 1.6.21 ve Excel programlarından yararlanılmıştır. VOSviewer aracılığıyla atıf (dergi, yazar, kurum ve belge), ortak yazarlık (kurum) ve ortak atıf (yazar) analizleri gerçekleştirilmiş; haritalama, kümeleme ve yoğunluk görselleştirmeleri yapılmıştır. Excel ile frekans ve yüzde tabloları ile grafikler oluşturulmuştur. Ağ görselleştirmelerinde öğelerin büyüklüğü ağırlıklarını, bağlantı çizgilerinin kalınlığı ise ilişkilerin gücünü gösterirken, örtüşüm görselleştirmesinde renkler öğelerin puanlarını ifade etmektedir (Van Eck ve Waltman, 2023).

2.4. Etik

Bu çalışmada kullanılan veriler daha önce yayınlanmış olan akademik çalışmalara ait olduğu için etik kurul onayı gerektirmemektedir. Araştırma süresince etik ilkelere uygun davranılmıştır.

3. BULGULAR

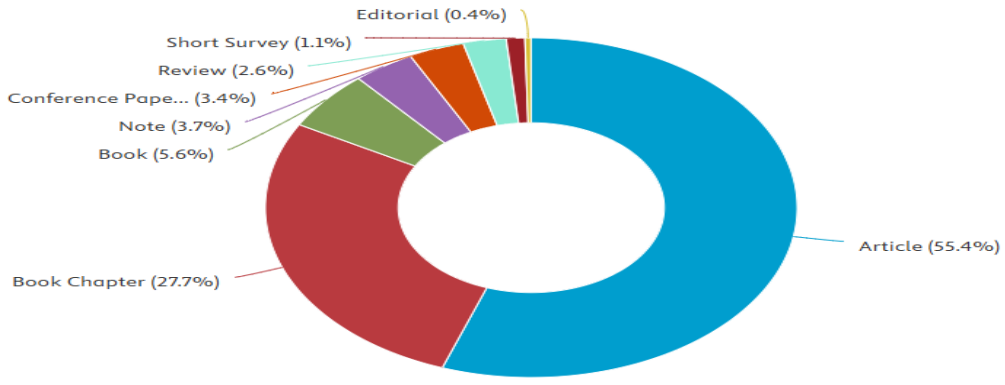
Scopus veri tabanında "başlık, anahtar kelime ve özet" içinde "climate diplomacy" ve "climate diplomatic*" kelimeleri geçen çalışmalar aratıldığında yayımlanan ilk çalışmanın 2006 yılında yayınlandığı belirlenmiştir. En çok yayının (n=59) 2026 yılında yayımlandığı saptanmıştır. Şekil 1 incelendiğinde yayın sayısında dalgalanmalar olsa da sürekli olarak artmaktadır.



Şekil 1. Yıllara göre yayın sayısı

Eserlerin Türlerine Göre Dağılımı

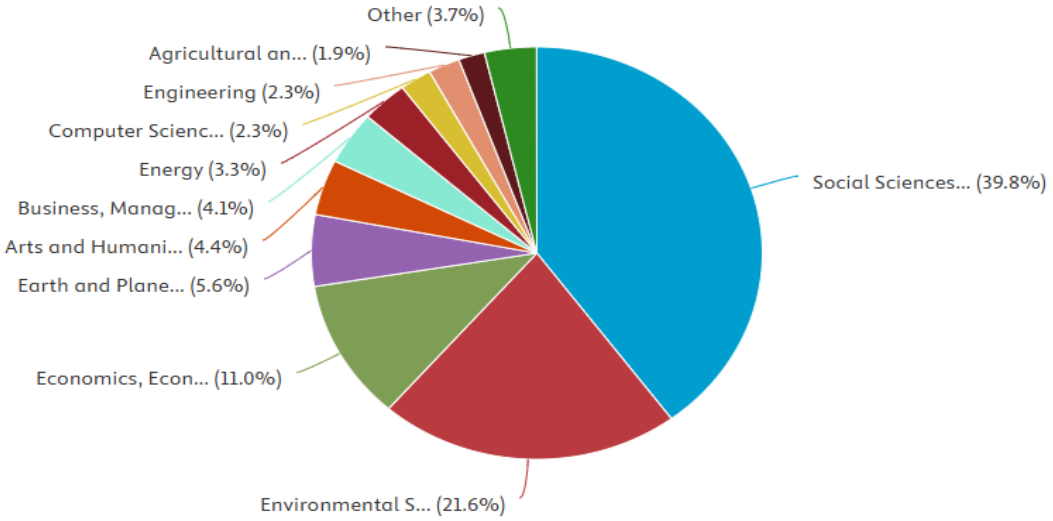
İklim diplomasisi konusunda yayınlanan eser türlere göre dağılımı grafik 1'de verilmiştir. Bu konuda en çok yayınlanan eser türleri; makale (f=148) kitap bölümü (f=74) ve kitap (f=15) olduğu belirlenmiştir.



Grafik 1. Eser türleri

Eserlerin Konularına Göre Dağılımı

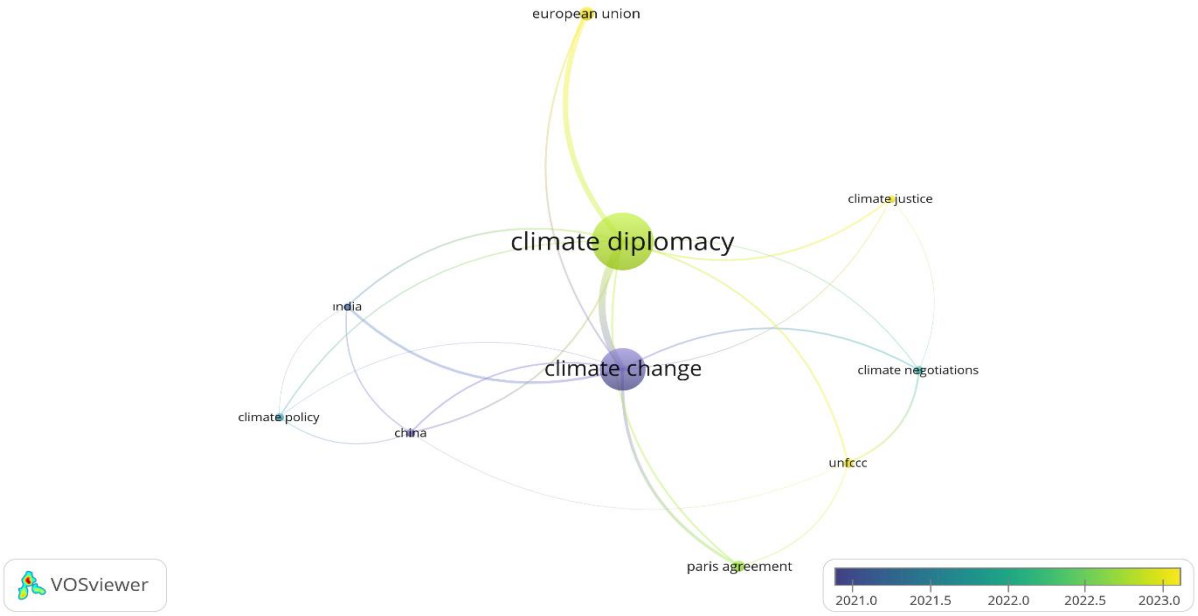
İklim diplomasisi konusu kapsamında yayınlanan eserlerin konu alanlarına göre dağılımı grafik 2'de verilmiştir. Eserlerin konu alanları incelendiğinde, en fazla yayının sosyal bilimler alanında (f=192) gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunu çevre bilimi (f=104), ekonomi, ekonometri ve finans (f=53) ve yer ve gezegen bilimleri (f=27) alanları takip etmektedir.



Grafik 2. Eserin konu dağılımı

Anahtar Kelime Analizi

Şekil 2'de, "climate diplomacy" ve "climate diplomatic*" kavramları kapsamında belirlenen yazar anahtar kelimelerinin ilişkilerini gösteren ağ haritası sunulmuştur. Harita, anahtar kelimeler arasındaki ilişkileri ortaya koymak amacıyla eş zamanlılık (co-occurrence) analizi kullanılarak oluşturulmuştur. Bir anahtar kelimenin minimun tekrar sayısı 7 olarak seçilmiş ve birbiri ile ilişkili 595 anahtar kelimeden program tarafından 10 anahtar kelime analize tabii tutulmuştur. Oluşturulan harita incelendiğinde, en çok kullanılan anahtar kelimelerin "climate diplomacy" (f=76), "climate change" (f=54), "european union" (f=15) ve "paris agreement" (f=13) olduğu belirlenmiştir. Şekil üzerinde sarı renkte gösterilen anahtar kelimeler son yıllarda kullanılan anahtar kelimelerdir (Şekil 2).

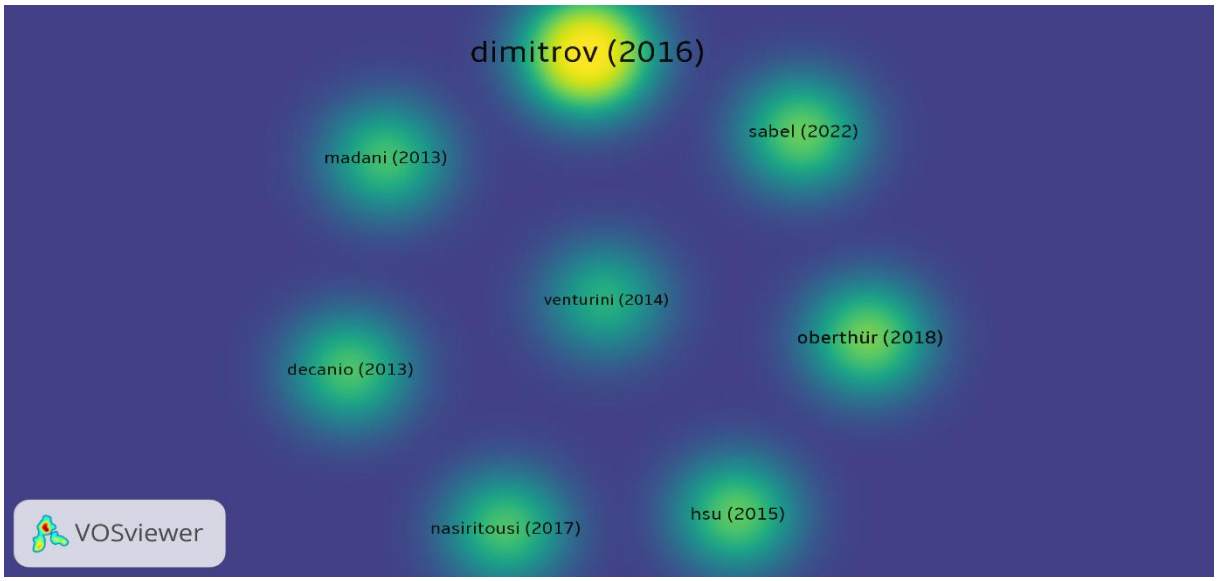


Şekil 2. Anahtar kelime ağ haritası

Eser Atıf Analizi

İklm diplomasisi konu ile ilgili Scopus veri tabanında yayınlanan eserlerden en çok hangi yayınlara atıf yapıldığını belirlemek için "citations" ve "documents" seçeneği seçilerek yoğunluk görselleştirmesi (density visualization) analizi yapılmıştır. Doküman başına yapılan minimum atıf sayısı "50" olarak seçildi, bu şartı sağlayan 8 doküman analize tabi tutuldu. Atıf ağ analiz sonucuna göre en çok atıf alan eser yoğunluğunun sarı renkli alanlarda olduğu görülmektedir. Bu kapsamda en çok atıf alan eserler Dimitrov (2016) (f=364), Oberthur ve Groen (2018) (f=113) ve Sabel ve Victor (2022) (f=103) olarak belirlendi (Şekil 3).

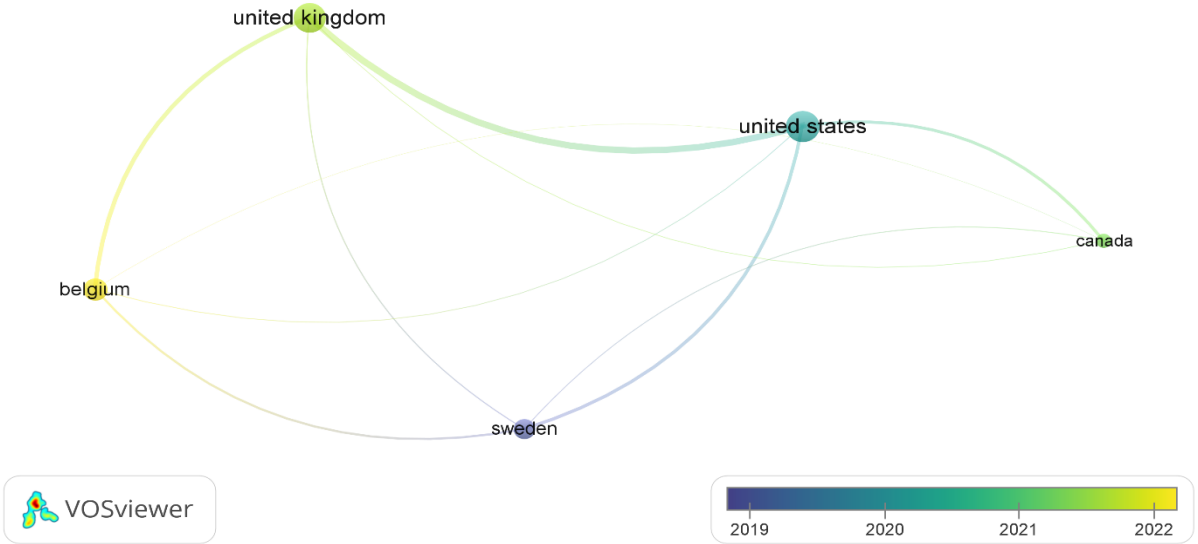
Dimitrov (2016), Paris İklim Anlaşması müzakerelerini inceleyerek iklim diplomasisinin başarısında ikna edici argümanların, müzakere stratejilerinin ve iklim eyleminin ekonomik faydalarına ilişkin söylemlerin ulusal ve uluslararası düzeyde politika taahhütlerinin şekillenmesinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Oberthur ve Groen (2018), Avrupa Birliği'nin Paris İklim Anlaşması müzakerelerindeki hedeflerine ulaşmasını inceleyerek diplomatik stratejilerin, uluslararası iş birliklerinin ve müzakere süreçlerindeki etkili aktörlerin iklim politikalarının şekillenmesindeki rolünü analiz etmiştir. Sabel ve Victor (2022), iklim değişikliğiyle mücadelede belirsizlik koşullarına uyum sağlayan, deneyimlerden öğrenmeyi ve esnek uluslararası iş birliğini esas alan stratejilerin etkili iklim politikalarının geliştirilmesindeki önemini vurgulamıştır. İklim diplomasisinin başarısında etkili müzakere stratejileri, uluslararası iş birliği, ikna edici söylemler ve belirsizliklere uyum sağlayan esnek politika yaklaşımlarının önemini ortaya koymuştur.



Şekil 3. Yayın atıf analiz ağ haritası

Araştırma Ülkelerinin Bibliyografik Bağlantı Analizi

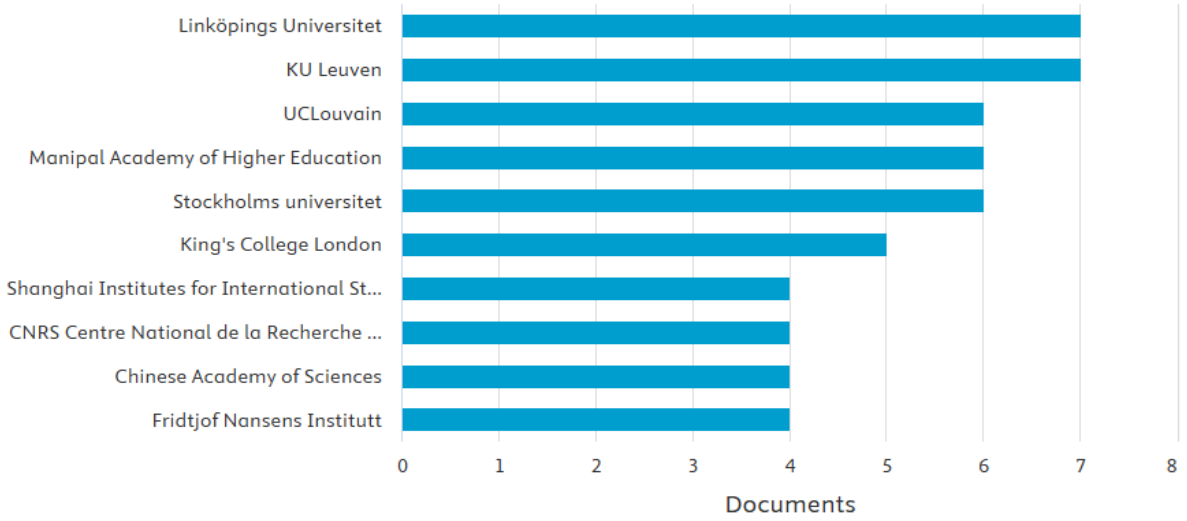
İklim diplomasisi konusunda araştırma yürüten ülkeleri analiz etmek için "bibliographic coupling" ve "countries" seçenekleri seçilerek overlay visualization analizi yapılmıştır. Ülke başına yapılan minimum yayın sayısı "10", atıf sayısı "150" olarak seçildi, bu şartı sağlayan 65 ülkeden program tarafından seçilen 8 ülkeye ait veriler analize tabi tutuldu. Analiz sonuçları Şekil 4'te gösterildi. En çok yayına sahip ülkeler sırasıyla Amerika (f=26), İngiltere (f=25), Belçika (f=19), İsveç (f=21) ve Kanada (f=12) olduğu belirlenmiştir. Bu ağ haritası incelendiğinde en çok atıf yoğunluğuna sahip olan ülkenin Amerika (f=592) olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Ülkelere göre yayın dağılımı

Araştırma Yapan Kurumlar

İklim diplomasisi konusunda araştırma en çok araştırma yapan kurumlar Şekil 5'te gösterilmiştir. İklim diplomasisi alanında en çok yayın yapan kurumun Linköpings Universitet (f=7) ve KU Leuven (f=7) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. En çok araştırma yapan kurumlar

En Çok Fon Sağlayan Kurumlar

Yapılan araştırmada, iklim diplomasisi alanında yayımlanan çalışmaların farklı kurumlar tarafından fon desteği sağlanmıştır. Araştırmalara fon desteği sağlayan kurumlar incelendiğinde en çok fon desteğinin (f=7) fon desteğiyle "Fonds De La Recherche Scientifique - FNRS" tarafından gerçekleştirildiği belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Fon sağlayan kuruluşlar

Sıra	Fon sağlayıcı	Belge sayısı (f)	Yüzde (%)
1	Fonds De La Recherche Scientifique - FNRS	7	21,21
2	European Commission	5	15,15
3	Svenska Forskningsrådet Formas	4	12,12
4	Vetenskapsrådet	3	9,09
5	Bundesministerium für Bildung und Forschung	2	6,06
6	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	2	6,06
7	European Investment Bank	2	6,06
8	Fonds Wetenschappelijk Onderzoek	2	6,06
9	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo	2	6,06
10	Horizon 2020 Framework Programme	2	6,06

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, iklim diplomasisi alanındaki akademik çalışmalar bibliyometrik açıdan incelenerek yayın eğilimleri ve bilimsel ilişkiler değerlendirilmiştir. Scopus veri tabanından elde edilen 267 eser üzerinden gerçekleştirilen analiz sonucunda, ilk çalışmanın 2006 yılında yayımlandığı, yayın sayısının özellikle son yıllarda belirgin biçimde arttığı ve 2026 yılında 59 eser ile en yüksek yayın sayısına ulaşıldığı belirlenmiştir. Alana yönelik bilimsel yayınların sayısı son dönemde ivmelenmiştir. Yayın türleri incelendiğinde ise çalışmaların ağırlıklı olarak makale türünde olduğu görülmüştür.

VOSviewer analizin, iklim diplomasisi anahtar kelime analizinde climate diplomacy, climate change, European Union ve Paris Agreement kavramlar ön plana çıkmaktadır. Bu durum iklim değişikliğiyle mücadele, uluslararası alanda yapılan iklim anlaşmaları ve bölgesel ve küresel

aktörlerin iklim konusundaki diplomatik süreçlerdeki rolleri etrafından yoğunlaştığı görülmektedir.

İklim diplomasisi alanından yayın türleri ve konu alanları, ağırlıklı olarak makale, kitap bölümü ve kitap formatında yayımlanmıştır. Sosyal bilimler ve çevre bilimlerinde yoğunlaşmaktadır. Ekonomi ve yer bilimlerinin de araştırmalarda yer alması, iklim diplomasisinin çevresel olduğu kadar ekonomik, politik ve toplumsal boyutları bulunan çok disiplinli bir alan olduğunu görülmektedir.

İklim diplomasisi alanında ülkelere ve kurumlara ilişkin bulgular, araştırmalarının farklı coğrafyalarda akademik akademik kuruluşlarda yürütüldüğünü görülmektedir. Amerika, İngiltere, Belçika, İsveç ve Kanada yayın üretimi bakımından öne çıkan ülkeler arasında yer alırken, atıf yoğunluğunda ise Amerika ilk sıradadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Scopus veri tabanında indekslenen yayınlar üzerinden iklim diplomasisi araştırmalarının bilimsel görünümünü ortaya koyarak alandaki temel eğilimlerin ve akademik ilişkilerin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Sınırlılıklar

Araştırma “climate diplomacy” ve “climate diplomatic*” kelime grubunu içeren ve Scopus veri tabanında taranan yayınlarla sınırlıdır. Araştırma sonuçları 28 Ekim 2026 tarihine kadar yayınlanmış eserlerle sınırlıdır.

KAYNAKLAR

Dimitrov, R. S. (2016). The Paris agreement on climate change: Behind closed doors. Global Environmental Politics, 16(3), 1–11. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00361

Elliott, L. (2013). Climate diplomacy. In A. F. Cooper, J. Heine, & R. Thakur (Eds.), The Oxford handbook of modern diplomacy (pp. 840–856). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199588862.013.0048

Li, Z., & Yaakop, M. R. (2025). Global governance complex for climate change: A bibliometric analysis. Discover Sustainability, 6, Article 1422. https://doi.org/10.1007/s43621-025-02089-6

Oberthur, S., & Groen, L. (2018). Explaining goal achievement in international negotiations: The EU and the Paris Agreement on climate change. Journal of European Public Policy, 25(5), 708–727. https://doi.org/10.1080/13501763.2017.1291708

Sarno, G. S. (2022). Boosting international subnational climate diplomacy ahead of COP27 and COP28. Istituto Affari Internazionali. https://www.iai.it/en/publications/c09/boosting-international-subnational-climate-diplomacy-ahead-cop27-and-cop28

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). *VOSviewer Manual: Manual for VOSviewer version 1.6.20*. Universiteit Leiden. https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf

Waltman, L., Van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010). A Unified Approach to Mapping and Clustering of Bibliometric Networks. Journal of Informetrics, 4(4), 629–635. https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002

DİJİTAL ÇAĞDA OKURYAZARLIK VE DEZENFORMASYON: KAVRAMSAL ÇERÇEVE, ÖRNEK OLAYLAR VE MÜCADELE STRATEJİLERİ

Doç. Dr. Serdar KIRIŞOĞLU
Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye
ORCID: 0000-0002-4416-6657
Dr. Öğr. Üyesi Kurban KOTAN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Bölümü, Manisa, Türkiye
ORCID: 0000-0002-6660-0565

ÖZET
Dijital platformların gündelik iletişim ve haber tüketimindeki ağırlığı, bilginin dolaşımını hızlandırırken yanlış ve yanıltıcı içeriklerin yayılımını da önemli bir toplumsal sorun hâline getirmiştir. Bu çalışma, dijital ortamlarda yanlış ve yanıltıcı bilginin üretim ve dolaşım biçimlerini bilgi düzensizliği ile medya ve bilgi okuryazarlığı literatürü çerçevesinde incelemektedir. Yöntem olarak, seçilmiş akademik kaynaklara ve örnek olay türlerine dayanan anlatımsal literatür incelemesi kullanılmıştır; yeni bir örneklem, deney veya nicel analiz yürütülmemiştir. Önce yanlış bilginin kasıtsız paylaşımı, kasıtlı dezenformasyon ve gerçek temelli bilginin zarar verme amacıyla kullanımı arasındaki ayrım açıklanmıştır. Ardından tarihsel ve kültürel anlatılar ile güncel sosyal medya iddiaları, üretim niyeti, bağlamın koparılması ve paylaşım dinamikleri bakımından tartışılmıştır. Bu örnekler bağımsız tarihsel doğrulama yapılmış vaka çalışmaları olarak değil, kavramların işleyişini görünür kılan tartışma malzemeleri olarak ele alınmıştır. İncelenen araştırmalar, belirli çevrimiçi veri kümelerinde yanlış haberlerin doğru haberlere kıyasla daha hızlı ve geniş yayılabildiğini, kullanıcıların dikkatini doğruluğa yönelten müdahalelerin ise paylaşım kararlarını iyileştirebildiğini göstermektedir. Bu bulgular farklı ülke ve platformlara doğrudan genellenemez. Çalışma, kaynak sorgulama, tarih ve bağlam kontrolü, tersine görsel arama, duygusal tepkileri gözden geçirme ve farklı güvenilir kaynaklarla karşılaştırma adımlarını SİS (Sorgula, İzle, Sağlamasını yap) rutini altında toplamaktadır. Bu çerçevede dijital okuryazarlık, yalnızca araç kullanımı değil, içeriklerin kaynağını, kanıtını ve olası etkisini değerlendirme becerisi olarak ele alınmaktadır. Sonuç olarak dezenformasyonla mücadele, paylaşım öncesi bireysel doğrulama alışkanlıklarının eğitim, kurumsal doğrulama ve platform düzeyindeki önlemlerle desteklenmesini gerektirir.
Anahtar Kelimeler: Dijital okuryazarlık, medya ve bilgi okuryazarlığı, dezenformasyon, bilgi düzensizliği, doğrulama.

LITERACY AND DISINFORMATION IN THE DIGITAL AGE: CONCEPTUAL FRAMEWORK, CASE EXAMPLES, AND STRATEGIES FOR COUNTERACTION

ABSTRACT
The growing role of digital platforms in everyday communication and news consumption has accelerated the circulation of information while also making the spread of false and misleading content a significant social problem. This study examines how false and misleading information is produced and circulated in digital environments within the framework of the literature on information disorder and media and information literacy. The method employed is a narrative literature review based on selected academic sources and types of case examples; no new sample, experiment, or quantitative analysis was conducted. First, the distinctions among the

unintentional sharing of false information (misinformation), intentional disinformation, and the use of truth-based information with the aim of causing harm (malinformation) are explained. Historical and cultural narratives, along with contemporary social media claims, are then discussed in terms of the intent behind their production, the removal of information from its context, and the dynamics of sharing. These examples are treated not as case studies that have undergone independent historical verification, but as discussion materials that make the operation of the concepts visible. The studies reviewed indicate that, in certain online datasets, false news can spread faster and more widely than true news, while interventions that direct users' attention to accuracy can improve sharing decisions. These findings cannot be directly generalized to different countries and platforms. The study brings together source scrutiny, checks of dates and context, reverse image searches, reflection on emotional reactions, and comparison with other reliable sources under the SİS routine (Question, Monitor, Verify). Within this framework, digital literacy is understood not merely as the ability to use tools, but as the ability to evaluate the sources, evidence, and potential effects of content. In conclusion, countering disinformation requires individual verification habits before sharing to be reinforced through education, institutional fact-checking, and platform-level measures.
Keywords: Digital literacy, media and information literacy, disinformation; information disorder, verification.

GİRİŞ

Dijital iletişim ortamları, bireylerin bilgiye erişme ve bilgi paylaşma olanaklarını genişletmiştir. Bununla birlikte aynı altyapı; doğrulanmamış iddiaların, bağlamından koparılmış görüntülerin, sahte kanıtların ve kasıtlı olarak yanıltıcı içeriklerin kısa sürede geniş kitlelere ulaşmasına da imkân tanımaktadır (Lazer vd., 2018). Bu nedenle günümüzde okuryazarlık, yalnızca metin okuyup yazabilme ya da dijital araçları kullanabilme becerisiyle sınırlı düşünülemez. Kullanıcının bir içeriğin kaynağını değerlendirmesi, iddiayı bağımsız kaynaklarla karşılaştırması, görselin bağlamını incelemesi ve paylaşım kararının olası sonuçlarını dikkate alması da önemlidir.

Sorunun güncel boyutu, haber tüketiminin platformlara kaymasıyla da ilişkilidir. Reuters Enstitüsü'nün Digital News Report 2026 raporuna göre 48 pazarda sosyal medya ve video ağları dünya genelinde haber erişiminde en yaygın kaynak hâline gelmiş (%54); çevrimiçi sahte haber konusunda endişe duyanların oranı ise ortalama %62'ye yükselmiştir (önceki yıla göre 4 puan artış) (Egan, 2026a). Aynı raporun Türkiye bölümünde internet penetrasyonu %90, haberlere genel güven %28 (küresel ortalama %37) ve haberden bazen ya da sık sık kaçınanların oranı %60 olarak bildirilmektedir (Egan, 2026b). Bu veriler çevrimiçi anketlere dayanmakta olup nedensel bir açıklama sunmamaktadır; ancak yanlış ve yanıltıcı bilgiyle mücadelenin, haber güveninin düşük ve platformların ağırlığının yüksek olduğu bir bilgi ortamında yürütüldüğünü göstermektedir.

Wardle ve Derakhshan (2017) bilgi düzensizliğini yanlış bilgi, kasıtlı dezenformasyon ve zarar verme amacıyla kullanılan gerçek bilgi biçimleri üzerinden ele alır. Vosoughi vd. (2018) Twitter verilerine dayanan araştırmalarında 2006–2017 döneminde bağımsız doğrulama kuruluşlarınca sınıflandırılmış yaklaşık 126.000 haberi (yaklaşık 3 milyon kişi tarafından 4,5 milyondan fazla kez paylaşılmış) incelemiş ve yanlış haberlerin bu veri kümesinde doğru haberlere göre daha uzağa, daha hızlı ve daha geniş biçimde yayıldığını ortaya koymuştur. Pennycook ve Rand (2021) yanlış haberlerin paylaşılmasını yalnızca siyasi tarafgirlikle açıklamanın yetersiz olduğunu; dikkatsizlik, sınırlı akıl yürütme ve doğruluğa yeterince odaklanmama gibi etkenlerin de önem taşıdığını tartışmaktadır. Bu bulgular, dezenformasyonla

mücadelenin yalnızca içerik kaldırma veya teknik filtreleme yaklaşımına indirgenemeyeceğini; bireysel beceriler, platform tasarımı, eğitim ve doğrulama ekosisteminin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Türkiye bağlamında yapılan çalışmaların bir bölümü doğrulama platformlarının işleyişine odaklanmaktadır. Karadağ ve Ayten (2020) Teyit.org ve Doğruluk Payı yetkilileriyle yaptıkları görüşmelerde aşırı kutuplaşmanın bu işin en zor yönlerinden biri olarak dile getirildiğini bildirmektedir; Geyik (2025) ise Teyit.org ve AA Teyit Hattı'nın dini iddialara ilişkin doğruluk kontrol süreçlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bu çalışma, kavramsal düzey ile uygulama düzeyini örnek olaylar üzerinden ilişkilendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu bildirinin amacı, farklı türlerdeki bilgi manipülasyonu örneklerini akademik bir çerçevede değerlendirmek ve günlük hayatta uygulanabilecek doğrulama stratejilerini literatürle ilişkilendirmektir. Çalışma şu sorulara odaklanır: (i) dijital ortamlarda yanlış ve yanıltıcı bilgi hangi biçimlerde ortaya çıkar? (ii) ele alınan örnekler hangi bilgi düzensizliği mekanizmalarını görünür kılar? (iii) bireysel ve toplumsal düzeyde hangi doğrulama pratikleri geliştirilebilir? Bildirinin devamında yöntem ve kapsam, kavramsal bulgular, örneklerin değerlendirilmesi, mücadele stratejileri, tartışma ve sonuç yer almaktadır.

YÖNTEM VE KAPSAM

Çalışma, dijital okuryazarlık ve dezenformasyon alanındaki temel kavramları ve örnek olay türlerini seçilmiş akademik literatür eşliğinde ele alan anlatımsal bir literatür incelemesidir. Örnek olay seti bir sunum içeriğinden derlenmiştir: Hz. Âdem anlatısı, Hz. Yusuf'un kanlı gömleği, Uhud Savaşı'ndaki söylenti, Şehzade Mustafa'nın idamı, Çanakkale'de sömürge askerlerine yönelik propaganda anlatısı, güncel bir siyasetçi hakkında ölüm iddiası, bir televizyon oyuncusunun tekrar tekrar öldüğüne ilişkin söylentiler ve pandemi/plandemi çerçevesi. Bu örnekler, bağımsız tarihsel doğrulama yapılmış vaka çalışmaları olarak değil, bilgi manipülasyonunu tartışmaya yarayan örnekler olarak değerlendirilmiştir.

Başvurulan başlıca kaynaklar üç eksende gruplandırılmış ve Tablo 1'de özetlenmiştir: bilgi düzensizliğine ilişkin kavramsal çerçeveler, çevrimiçi yayılım ile inanç ve paylaşım psikolojisi, müdahale ve eğitim çalışmaları. Bu yöntem sistematik derleme değildir; arama stratejisi, dahil etme-dışlama ölçütleri ve kapsamlı tarama akışı uygulanmamıştır. Dolayısıyla sonuçlar yeni ampirik bulgular değil, seçilmiş literatürün kavramsal sentezi olarak yorumlanmalıdır. Ayrıca başvurulan ampirik bulguların önemli bir bölümü Twitter verilerine veya ABD örneklemlerine dayanmaktadır; bu bulgular Türkiye ve diğer platformlar için doğrudan genellenmemelidir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölüm, anlatımsal literatür incelemesinden elde edilen kavramsal bulguları ve örneklerin bu kavramlarla ilişkisini sunmaktadır; yeni veri toplanmasına dayalı ampirik bulgu iddiası taşımamaktadır.

Tablo 1. ***Başvurulan başlıca kaynakların özeti***

Eksen	Kaynak	Veri / tasarım	Temel bulgu ya da katkı
Kavramsal çerçeve	Wardle ve Derakhshan (2017); Tandoc vd. (2018)	Rapor ve 34 makalelik derleme	Bilgi düzensizliği türleri ile "sahte haber" teriminin alt biçimlerini tanımlar.
Yayılım ve psikoloji	Vosoughi vd. (2018); Pennycook ve Rand (2021); Guess vd. (2020); Lewandowsky vd. (2012)	Twitter ve ABD seçim verileri; derlemeler	Yayılım, maruziyet, paylaşım kararları ve düzeltme sonrası etkiyi inceler.
Müdahale ve eğitim	Pennycook vd. (2021); Pennycook ve Rand (2022); Roozenbeek vd. (2022); Wineburg ve McGrew (2019)	Deneyler, iç meta-analiz, saha çalışmaları ve karşılaştırma	Doğruluk istemleri, aşılama videoları ve yanlamasına okumayı inceler. YouTube saha çalışmasında teknikleri tanıma ölçülmüştür.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE: OKURYAZARLIK VE BİLGİ DÜZENSİZLİĞİ

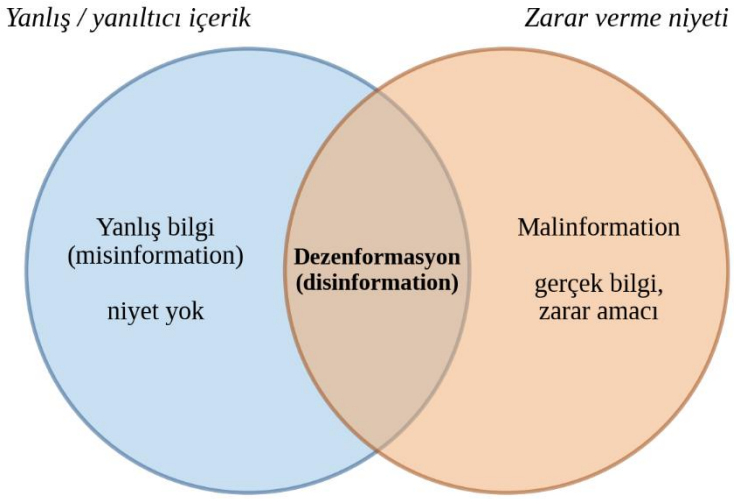
Dijital okuryazarlık ve medya-bilgi okuryazarlığı

Dijital okuryazarlık, dijital araçlara erişme ve bunları kullanmanın yanı sıra dijital içerikleri anlama, değerlendirme, üretme ve güvenli biçimde paylaşma becerilerini kapsayan geniş bir çerçeve olarak ele alınabilir. Medya ve bilgi okuryazarlığı ise mesajın nasıl üretildiğini, hangi amaçla dolaşıma sokulduğunu, kaynağın ne ölçüde güvenilir olduğunu ve temsil edilen bilginin hangi bağlamda sunulduğunu sorgulamayı öne çıkarır. Bu yaklaşımda kullanıcı pasif bir içerik tüketicisi değil, bilgiye ilişkin kararlarının sorumluluğunu taşıyan eleştirel bir katılımcıdır. UNESCO'nun medya ve bilgi okuryazarlığı çerçevesi de eleştirel değerlendirme ve bilinçli katılım becerilerini vurgulamaktadır (UNESCO, 2021).

Misinformation, disinformation ve malinformation

Misinformation, yanlış bilginin kasıtlı bir yanıltma amacı olmadan paylaşılmasıdır. Disinformation, yanlış veya yanıltıcı içeriğin aldatma amacıyla üretilmesi ya da yayılmasıdır. Malinformation ise gerçek veya gerçek temelli bilginin bir kişiye, gruba ya da kuruma zarar vermek amacıyla kullanılmasıdır (Wardle & Derakhshan, 2017) (Şekil 1, Tablo 2). Alanyazında yaygın kullanılan "sahte haber" terimi tek anlamlı değildir: Tandoc vd. (2018) 2003–2017 arasında yayımlanan 34 akademik makaleyi inceleyerek terimin haber hicvi, parodi, uydurma, manipülasyon, reklam ve propaganda gibi farklı biçimlerde, olgusallık ve aldatma boyutlarına göre kullanıldığını göstermiştir. Bu nedenle bu çalışmada "sahte haber" yerine "yanlış ve yanıltıcı bilgi" ile "bilgi düzensizliği" terimleri tercih edilmiştir.

Kavramlar arasındaki ayrım önemlidir: bir içeriğin yanlış olması, onu yayan herkesin kasıtlı olarak yalan söylediğini tek başına kanıtlamaz. Niyet değerlendirmesi için içerik kadar üretim ve yayılım bağlamına ilişkin kanıtlar da gerekir.



Şekil 1. Bilgi düzensizliği kavramlarının yanlışlık ve zarar verme niyeti ölçütlerine göre konumlanması. Wardle ve Derakhshan (2017) temel alınarak yeniden çizilmiştir.

Tablo 2. ***Bilgi düzensizliği kavramlarının karşılaştırılması***

Kavram	**İçeriğin durumu**	**Zarar verme niyeti**	**Örnek**
Yanlış bilgi (misinformation)	Yanlış veya yanıltıcı	Yok (kasıtsız paylaşım)	Eski bir fotoğrafın yeni olaymış gibi yanlışlıkla paylaşılması; çalışmadaki değerlendirmeye göre Uhud Savaşı'ndaki söylenti.
Dezenformasyon (disinformation)	Yanlış veya yanıltıcı	Var (aldatma amacı)	Kasıtlı olarak üretilmiş sahte kanıt.
Malinformation	Gerçek veya gerçek temelli	Var (zarar verme amacı)	Gerçek bilginin, bir kişiye zarar vermek amacıyla ya da mahremiyetini ihlal edecek biçimde yayılması (genel örnek).

Wardle (2019) ayrıca içerik düzeyinde yedi kategori ayırır: hiciv veya parodi, yanlış bağlantı (başlık, görsel ya da alt yazının içeriği desteklememesi), yanıltıcı içerik, yanlış bağlam (gerçek içeriğin yanlış bağlam bilgisiyle paylaşılması), sahte kaynak taklidi, manipüle edilmiş içerik ve tümüyle uydurma içerik. Bu çalışmada bazı örnekler bu kategorilerle yorumlayıcı biçimde eşleştirilmiştir (Tablo 3); bu eşleştirme bir sınıflandırma iddiası değil, tartışmaya yönelik bir okuma önerisidir.

Çalışmada ele alınan örneklerden Uhud Savaşı sırasında Hz. Muhammed'in şehit olduğuna ilişkin söylenti, kasıtsız yanlış bilginin etkisini tartışmak için kullanılmaktadır. Buna karşılık sahte kanıt üretimi veya siyasi yönlendirme iddiaları, eğer tarihsel kaynaklarla doğrulanırsa, kasıtlı yanıltma kategorisiyle ilişkilendirilebilir. Ancak tarihsel örneklerde niyet ve olay ayrıntıları birincil kaynaklar üzerinden ayrıca doğrulanmadan kesin sınıflandırma yapılmamalıdır.

ÖRNEK OLAYLARIN KAVRAMSAL DEĞERLENDİRMESİ

Ele alınan örnekler dört başlık altında incelenmiştir. Tablo 3, her örnekte öne çıkan mekanizmayı, Wardle'ın kategorileriyle yorumlayıcı eşleştirmeyi ve doğrulama notunu özetlemektedir.

Tablo 3. ***Ele alınan örneklerin mekanizma, kategori ve doğrulama notu açısından özeti***

Örnek	Öne çıkan mekanizma	İlgili kategori	Doğrulama notu
Hz. Âdem anlatısı	Yanlış vaat; arzuların yönlendirilmesi	Analoji (sınıflandırılmaz)	Dini ve kültürel anlatı; tarihsel/ampirik kanıt gibi sunulmaz.
Hz. Yusuf'un kanlı gömleği	Sahte kanıtla olayın farklı gösterilmesi	Analoji; uydurma içeriğe benzer	Aynı ayrım geçerlidir; "kanıtın niteliği" sorusunu görünür kılar.
Uhud Savaşı'ndaki söylenti	Kriz anında söylenti yayılımı	Yanlış bilgi (kasıtsız); doğrudan kategori karşılığı yok	Niyet, birincil kaynaklarla doğrulanmadan kesinleştirilmez.
Şehzade Mustafa'nın idamı	Siyasi iddialar ve yönlendirme	Kesin sınıflandırma yapılmaz	Tarihsel belgeler ve güvenilir akademik çalışmalarla çapraz kontrol gerekir.
Çanakkale'de sömürge askerlerine yönelik propaganda	Propaganda anlatısı	Kesin sınıflandırma yapılmaz	Aynı; ayrıntılar belgelerle desteklenmeden kesin sonuç olarak kullanılmaz.
Güncel bir siyasetçi hakkında ölüm iddiası	Sıra dışı tek kareye dayalı çıkarım; bağlam kontrolü	Yanlış bağlam / yanıltıcı içerik (yorumlayıcı)	Orijinal kayıt, yayın tarihi, tam bağlam ve bağımsız kaynaklar; tersine görsel arama.
Televizyon oyuncusunun tekrar eden ölüm söylentileri	Tıklama odaklı başlık; tekrar paylaşım	Yanlış bağlantı: başlık–içerik uyumsuzluğu (yorumlayıcı)	İlk yayın kaynağı, başlık-içerik tutarlılığı ve düzeltmelerin takibi.
Pandemi / plandemi çerçevesi	Karşıt çerçeveleme; komplo anlatısı	Yanıltıcı içerik: çerçeveleme (yorumlayıcı)	Verinin tarihi, ölçüm yöntemi, örneklem; sağlık kurumları ve uzman değerlendirmeleri.

Anlatı, sahte kanıt ve algı yönetimi

İlk örnek grubu olarak Hz. Âdem'in cennetten yeryüzüne gönderilmesi anlatısı, yanlış vaat ve arzuların yönlendirilmesi; Hz. Yusuf'un kanlı gömleği anlatısı ise sahte kanıtla bir olayın farklı gösterilmesi üzerinden ele alınmaktadır. Bu anlatılar güncel haber doğrulama vakalarıyla aynı kanıt türüne sahip değildir; dini ve kültürel anlatıların günümüz dezenformasyon kavramlarıyla yorumlanması analojik bir çerçevedir. Akademik kullanımda bu ayrım açıkça belirtilmeli, anlatılar tarihsel/ampirik kanıt gibi sunulmamalıdır. Güncel doğrulama pratiğinde de dini içerikli iddiaların dezenformasyona konu olabildiği görülmektedir: Geyik (2025) Teyit.org ve AA Teyit Hattı'nın incelediği 167 dini iddiayı içerik analiziyle ele almış ve "dini değerlerin politize edilmesi" ile "dini kurum ve aktörlerin hedef alınması" kategorilerinin en çok dezenformasyon içeren başlıklar olduğunu bildirmiştir.

Bu örneklerin ortak teması, alıcının kararını etkileyen bilginin yalnızca içeriği değil, sunuluş biçimi ve duygusal bağlamıdır. Sahte kanıt, otoriteye başvurma, eksik bilgi verme veya belirli bir yorumu tek seçenekmiş gibi gösterme, alıcının bağımsız değerlendirme yapmasını zorlaştırabilir. Yanlış bilginin düzeltilmesinden sonra bile ilk iddianın etkisinin sürebilmesi, düzeltmelerin açık ve bağlamı açıklayan biçimde yapılmasını önemli kılmaktadır (Lewandowsky vd., 2012). Günümüzde benzer mekanizmalar kırpılmış video, eski fotoğrafın yeni olaymış gibi sunulması veya doğrulanmamış ekran görüntülerinin kanıt olarak paylaşılması biçiminde görülebilir.

Savaş, söylenti ve siyasi propaganda

Uhud Savaşı'ndaki "şehadet" söylentisi, Şehzade Mustafa'nın idamına ilişkin siyasi iddialar ve Çanakkale'de sömürge askerlerine yönelik propaganda anlatısı, bilgi akışının karar alma süreçleri üzerindeki etkisini tartışmak için kullanılmaktadır. Savaş ve siyasi mücadele ortamlarında bilgi, yalnızca olayları aktaran bir unsur değil, moral, bağlılık, güven ve davranışları etkilemeye yönelik stratejik bir araç da olabilir. Bununla birlikte bu örneklerde yer alan ayrıntılar tarihsel belgeler ve güvenilir akademik çalışmalarla desteklenmeden kesin tarihsel sonuç olarak kullanılmamalıdır.

Bu örneklerden çıkarılabilecek genel ders, kriz koşullarında bilginin hızla yayılmasının doğrulukla eşdeğer olmadığıdır. Özellikle ölüm, saldırı, ihanet veya acil tehdit gibi yüksek duygusal yoğunluk taşıyan iddialar, teyit mekanizması devreye girmeden dolaşıma girdiğinde panik ve yanlış kararları tetikleyebilir.

Sosyal medyada görsel manipülasyon ve tekrar eden söylentiler

Güncel bir siyasetçinin öldüğüne ilişkin iddiayı desteklemek için paylaşılan videodaki sıra dışı bir kare, görüntünün yapay zekâ ile üretildiğini veya ölüm iddiasının doğru olduğunu tek başına kanıtlamaz. Görüntünün özgün kaydı, yayın tarihi, tam bağlamı ve bağımsız kaynaklar kontrol edilmelidir. Kare hızı, sıkıştırma ve hareket bulanıklığı gibi teknik özellikler de ancak özgün kayıt üzerinde incelenerek yorumlanabilir. Benzer biçimde, bir televizyon oyuncusunun tekrar tekrar öldüğüne ilişkin söylentiler, tıklama odaklı başlıklar ve tekrar paylaşım yoluyla yanlış bilginin nasıl yeniden üretilebildiğini örneklemektedir.

Vosoughi vd. (2018) 2006–2017 yılları arasında Twitter'da yayılan ve bağımsız doğrulama kuruluşlarınca sınıflandırılan haberlerde yanlış haberlerin doğru haberlere göre yaklaşık %70 daha fazla yeniden paylaşılma olasılığına sahip olduğunu ve 1.500 kişiye ulaşmasının doğru haberlere kıyasla yaklaşık altı kat daha kısa sürdüğünü bildirmiştir. Araştırmacılar ayrıca botların doğru ve yanlış haberlerin yayılmasını benzer oranda hızlandırdığını, dolayısıyla farkın büyük ölçüde insan davranışından kaynaklandığını belirtmektedir. Bu sonuç tüm platformlara, dönemlere ve içerik türlerine otomatik olarak genellenmemelidir.

Pennycook ve Rand (2021) yanlış haber paylaşımında doğruluğa dikkat eksikliği ve aşinalık gibi bilişsel kestirmelerin önemine dikkat çeker. Pennycook vd. (2021) ise dört anket deneyi ve 5.379 Twitter kullanıcısıyla yürütülen bir saha deneyinde, kullanıcıların dikkatini doğruluk değerlendirmesine yöneltmenin sonradan paylaşılan haberlerin kalitesini artırdığını göstermiştir. Aynı araştırma grubunun 2017–2020 arasında yürüttüğü 20 deneyin (toplam N = 26.863) iç meta-analizinde, doğruluk istemlerinin yanlış başlıkları paylaşma niyetini kontrol koşuluna göre yaklaşık %10 azalttığı bildirilmiştir (Pennycook & Rand, 2022). Bu nedenle paylaşım öncesi kısa bir doğruluk kontrolü uygulanabilir bir müdahale olarak değerlendirilebilir; ancak bu bulgular deneysel koşullardan elde edilmiştir, meta-analiz aynı araştırma grubunun kendi çalışmalarına dayanmaktadır ve gerçek yaşamdaki etkinin büyüklüğü bağlama göre değişebilir. Guess vd. (2020) 2016 ABD seçim kampanyasına ilişkin anket ve web trafiği verilerinde güvenilir olmayan sitelerin bilgi diyetinin ortalamada küçük bir kısmını oluşturduğunu ve ağırlıklı olarak kendi görüşleriyle uyumlu içeriği güçlü biçimde tercih eden bir kesim tarafından tüketildiğini bildirmektedir; bu bulgu, yanlış bilgiye maruziyetin kullanıcılar arasında eşit dağılmadığını ve kaynak değerlendirmesinin önemini göstermektedir.

Pandemi, komplo anlatıları ve bilimsel iddialar

"Pandemi mi, plandemi mi?" biçimindeki karşıt çerçeveleme, sağlık krizlerinde bilimsel bilginin, belirsizliğin ve komplo anlatılarının nasıl karşı karşıya gelebildiğini tartışmaya açmaktadır. Nitekim COVID-19 sürecine ilişkin beş sosyal medya platformunda (Twitter, Instagram, YouTube, Reddit ve Gab) yapılan bir analiz, şüpheli kaynaklardan gelen bilgi

hacminin platformlara göre farklılaştığını bildirmektedir (Cinelli vd., 2020). Sağlık alanındaki iddialarda tekil görüntüler, kaynağı belirsiz alıntılar veya bağlamı verilmemiş istatistikler yerine, verinin tarihi, ölçüm yöntemi, örneklem özellikleri ve ilgili sağlık kurumlarının açıklamaları birlikte incelenmelidir. Bilimsel bilginin zaman içinde yeni kanıtlarla güncellenmesi, tek başına kasıtlı gizleme veya komplo kanıtı değildir; iddialar kanıtın niteliği ve uzmanlar arası değerlendirme üzerinden sınanmalıdır. Kök hücre tartışmasına ilişkin bir içerik analizi, bilimsel bir konunun medyada nasıl çerçevelendiğini göstermektedir (Nisbet vd., 2003). Bu nedenle çerçeveleme ile bilimsel kanıtın kendisi birbirinden ayrılmalıdır.

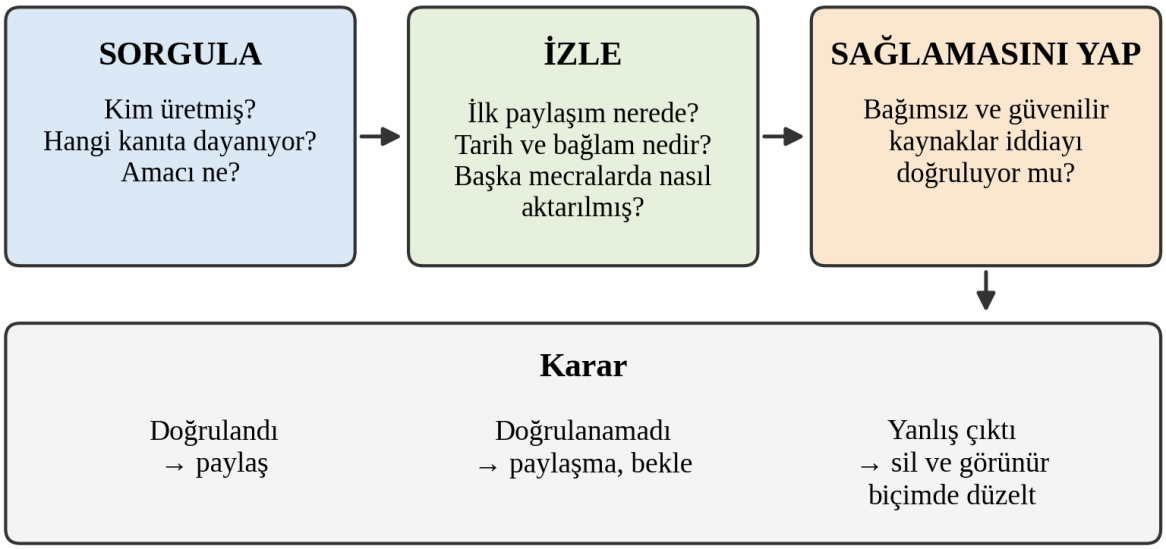
DEZENFORMASYONLA MÜCADELE İÇİN UYGULANABİLİR STRATEJİLER

SİS yaklaşımı: Sorgula, İzle, Sağlamasını yap

SİS yaklaşımı, paylaşım öncesi üç aşamalı bir kontrol rutini olarak geliştirilebilir (Şekil 2). Sorgula: İçeriği kim üretmiş, hangi kanıta dayanıyor ve ne amaçlıyor? İzle: İlk paylaşım nerede yapılmış, tarih ve bağlam nedir, içerik başka mecralarda nasıl aktarılmış? Sağlamasını yap: İddia, birbirinden bağımsız ve güvenilir kaynaklarda doğrulanıyor mu? Bu üç adım, kaynağı belirsiz mesajları otomatik olarak reddetmekten ziyade, karar vermeden önce kanıt toplamayı amaçlar.

SİS, alanyazındaki yerleşik rutinlerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Caulfield'in (2019) SIFT yöntemi dört hamleden oluşur: durmak, kaynağı araştırmak, daha iyi kapsam bulmak ve iddiayı, alıntıyı ya da görseli özgün bağlamına kadar izlemek. Wineburg ve McGrew (2019) ise doğrulama uzmanlarının bir sitede kalıp onu değerlendirmek yerine yeni sekmelerde kaynağı araştırdığını (yanlamasına okuma) bildirmektedir. Bu çalışmada SİS özgün bir yöntem iddiası olarak değil, paylaşım öncesi karar sürecine odaklanan bir uyarlama olarak ele alınmakta; etkinliği bu çalışmada sınanmamaktadır.

Paylaşmadan önce duraklat: içerik öfke, korku veya aşırı heyecan yaratıyor mu?



Şekil 2. SİS rutininin paylaşım öncesi karar akışı olarak gösterimi.

Hızlı doğrulama kontrol listesi

Tablo 4, SİS aşamalarını sekiz kontrol sorusuna ve örnek araçlara ayırmaktadır.

Tablo 4. ***SİS aşamalarına göre hızlı doğrulama kontrol listesi***

SİS aşaması	Kontrol	Soru	Örnek araç / kaynak
Ön adım: Duraklat	Duygusal tepki	İçerik öfke, korku veya aşırı heyecan yaratıyorsa paylaşım ertelendi mi?	Paylaşmadan önce bekleme
Sorgula	Kaynak	Haberi ilk yayımlayan kişi veya kurum belli mi? Uzmanlığı ve geçmiş düzeltmeleri incelenebiliyor mu?	Kurumun hakkında/künye sayfası; düzeltme kayıtları
	Kanıtın niteliği	Başlık, ekran görüntüsü veya çok sayıda paylaşım gerçekliğin kanıtı sanılıyor mu?	Ekran görüntüsünün özgün bağlantısı
İzle	Tarih	İçerik ne zaman üretilmiş? Eski bir görüntü veya haber yeniymiş gibi mi sunuluyor?	Arama motorlarında tarih aralığı filtresi
	Bağlam	Alıntı, fotoğraf veya video tam hâliyle incelendi mi? Kırpma anlamı değiştiriyor olabilir mi?	Özgün kaynak sayfası; videonun tam kaydı
	Görsel doğrulama	Tersine görsel arama ve mümkünse orijinal video/kayıt kontrol edildi mi?	Google Lens, TinEye, InVID-WeVerify
Sağlamasını yap	Bağımsız doğrulama	Aynı iddiayı birbirinden bağımsız güvenilir kaynaklar doğruluyor mu?	Teyit.org, Doğruluk Payı, AA Teyit Hattı
	Düzeltme sorumluluğu	Yanlış olduğu anlaşılan içerik silinip düzeltme, mümkünse ilk paylaşım kadar görünür biçimde yapıldı mı?	Düzeltmenin aynı mecrada duyurulması

Not: Araç ve kuruluş adları örnek niteliğindedir; kullanım kolaylıkları ve güvenilirlikleri bu çalışmada değerlendirilmemiştir.

Bireysel, kurumsal ve toplumsal düzey

Mücadele tek bir aktöre bırakılamaz. Bireyler paylaşım öncesi doğrulama alışkanlığı geliştirebilir; eğitim kurumları kaynak değerlendirmeyi uygulamalı etkinliklerle destekleyebilir; medya ve doğrulama kuruluşları düzeltmeleri görünür kılabilir; platformlar da şeffaf içerik politikaları ve doğruluk odaklı tasarım müdahaleleri geliştirebilir. Bu önlemler ifade özgürlüğünü ve meşru tartışmayı gereksiz yere sınırlamadan, kanıt temelli bilgiye erişimi güçlendirecek şekilde tasarlanmalıdır.

Öğrencilerin çevrimiçi kaynakların güvenilirliğini değerlendirme ve kaynaklar arasında çapraz kontrol yapma becerileri, yurttaşlık odaklı çevrimiçi akıl yürütme eğitiminin de temel bileşenlerindendir (McGrew vd., 2017).

TARTIŞMA

Araştırma sorularına yanıt

Birinci soru açısından, ele alınan örnekler yanlış ve yanıltıcı bilginin yanlış söylenti, sahte kanıt, bağlamından koparılmış görsel, siyasi propaganda, tıklama odaklı başlık ve çerçeveleme gibi farklı biçimlerde ortaya çıkabildiğini göstermektedir (Tablo 3). İkinci soru açısından, bu örneklerde öne çıkan mekanizmalar yüksek duygusal yoğunluk, sahte veya eksik kanıt, bağlam kaybı, tekrar yoluyla yeniden üretim ve kriz koşullarında hızlı yayılımdır. Üçüncü soru açısından ise paylaşım öncesi duraklatma ve SİS rutini (Şekil 2, Tablo 4) bireysel düzeyde; eğitim, medya, doğrulama kuruluşları ve platform önlemleri ise kurumsal ve toplumsal düzeyde uygulanabilir pratikler olarak öne çıkmaktadır.

Değerlendirme

Ele alınan örnekler, dezenformasyonun tek bir biçimde ortaya çıkmadığını göstermektedir: yanlış söylenti, sahte kanıt, bağlamından koparılmış görsel, siyasi propaganda ve tekrarlanan tıklama tuzağı farklı mekanizmalara dayanır. Bu nedenle her yanlış içeriğe aynı müdahalenin uygulanması yeterli değildir. Örneğin yanlışlıkla paylaşılan eski bir fotoğrafın düzeltilmesi ile kasıtlı olarak üretilmiş sahte kanıtın ele alınması farklı stratejiler gerektirebilir. Benzer şekilde tarihsel ve dini anlatılar, güncel doğrulanabilir haber iddialarıyla aynı yöntemsel statüde değerlendirilmemelidir.

Literatür, yanlış haberlerin çevrimiçi yayılımının yüksek olabileceğini (Vosoughi vd., 2018) ve doğruluğa dikkat çekmenin paylaşım kararlarını iyileştirebileceğini (Pennycook vd., 2021; Pennycook & Rand, 2022) düşündürmektedir. Aşılama temelli müdahaleler de manipülasyon tekniklerini tanımayı güçlendirebilmektedir (Roozenbeek vd., 2022). Bununla birlikte yalnızca bireyleri "daha dikkatli olmaya" çağırmak yeterli değildir. Bilgi ortamının tasarımı, platformların öneri sistemleri, güvenilir doğrulama kaynaklarının erişilebilirliği, haber kuruluşlarının sorumluluğu ve eğitim politikaları birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca kullanıcıların ideolojik olarak yakın oldukları içeriklere daha kolay inanacağı varsayımı her durumda geçerli değildir; eleştirel düşünme, bilgi düzeyi ve doğruluğa ayrılan dikkat gibi etkenler de hesaba katılmalıdır (Pennycook & Rand, 2021). SİS rutininin dayandığı yanlamasına okuma çalışması ise 45 katılımcılık küçük bir örnekleme dayanmaktadır (Wineburg & McGrew, 2019); bu nedenle benzer rutinlerin farklı gruplarda sınanması gerekmektedir.

Sınırlılıklar ve gelecek çalışmalar

Çalışmanın dört temel sınırlılığı vardır. Birincisi, ele alınan tarihsel ve güncel örneklerin tamamı için bağımsız vaka doğrulaması yapılmamış ve yeni veri toplanmamıştır; bu nedenle bildiri, belirli olayların tarihsel doğruluğunu kanıtlayan bir araştırma olarak değil, örnek olayları akademik kavramlarla ilişkilendiren bir çerçeve metni olarak görülmelidir. İkincisi, literatür sistematik biçimde taranmamıştır ve başvurulan ampirik bulguların önemli bir bölümü Twitter verilerine veya ABD örneklemlerine dayanmaktadır. Üçüncüsü, Digital News Report verileri çevrimiçi anketlere dayanmakta ve çevrimdışı kesimi eksik temsil edebilmektedir (Egan, 2026a). Dördüncüsü, Tablo 3'teki kategori eşleştirmeleri yazarların yorumudur ve bağımsız kodlayıcılarla sınanmamıştır.

Gelecek çalışmalar, belirli bir yaş veya eğitim grubunda medya okuryazarlığı eğitimi öncesi-sonrası ölçümler yapabilir; SİS rutininin tersine görsel arama ve kaynak karşılaştırma becerilerindeki değişime etkisini deneysel olarak değerlendirebilir; Türkiye'de doğruluk istemlerinin ve aşılama içeriklerinin etkisini yerel örneklemlerle sınayabilir.

SONUÇ

Dijital çağda okuryazarlık, yalnızca teknoloji kullanma yeterliği değil; bilginin kaynağını, bağlamını, kanıtını ve olası etkilerini değerlendirme becerisidir. Dezenformasyonla mücadelede en erişilebilir başlangıç noktası, paylaşım kararını geciktirmek ve kaynağı sorgulamaktır. SİS (Sorgula, İzle, Sağlamasını yap) yaklaşımı; kaynak, tarih, bağlam, görsel kökeni ve bağımsız doğrulama kontrolleriyle somutlaştırıldığında günlük kullanım için pratik bir çerçeve sunar; etkinliği ise ayrıca sınanmalıdır. Bununla birlikte sorumluluk yalnızca bireye yüklenmemeli; eğitim kurumları, medya kuruluşları, doğrulama platformları ve dijital platformlar da güvenilir bilgi ortamını desteklemelidir. Sonuç olarak dijital okuryazarlığın güçlendirilmesi, doğru bilgiye ulaşmanın yanı sıra yanlış bilginin istemeden yeniden üretilmesini önlemek açısından da kritik önemdedir.

KAYNAKÇA

Caulfield, M. (2019, June 19). SIFT (the four moves). Hapgood. https://hapgood.us/2019/06/19/sift-the-four-moves/

Cinelli, M., Quattrociocchi, W., Galeazzi, A., Valensise, C. M., Brugnoli, E., Schmidt, A. L., Zola, P., Zollo, F., & Scala, A. (2020). The COVID-19 social media infodemic. Scientific Reports, 10, Article 16598. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73510-5

Egan, J. (2026a, June 16). Overview and key findings of the 2026 Digital News Report. Reuters Institute for the Study of Journalism. https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/digital-news-report/2026/dnr-executive-summary

Egan, J. (2026b, June 16). Turkey. Reuters Institute for the Study of Journalism. https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/digital-news-report/2026/turkey

Geyik, K. (2025). Din haberciliğinde dezenformasyon ve doğrulama: Teyit.org ve AA Teyit Hattı'nın karşılaştırmalı analizi. Medya ve Din Araştırmaları Dergisi, 8(1), 263–293. https://doi.org/10.47951/mediad.1628133

Grizzle, A., Wilson, C., Tuazon, R., Cheung, C. K., Lau, J., Fischer, R., Gordon, D., Akyempong, K., Singh, J., Carr, P. R., Stewart, K., Tayie, S., Suraj, O., Jaakkola, M., Thésée, G., Gulston, C., Andzongo Menyeng, B. P., & Zibi Fama, P. A. (2021). Media and information literate citizens: Think critically, click wisely! Media and information literacy curriculum for educators and learners. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377068

Guess, A. M., Nyhan, B., & Reifler, J. (2020). Exposure to untrustworthy websites in the 2016 US election. Nature Human Behaviour, 4(5), 472–480. https://doi.org/10.1038/s41562-020-0833-x

Karadağ, G. H., & Ayten, A. (2020). A comparative study of verification/fact-checking organizatons in Turkey: Dogrulukpayi.com and teyit.org. Motif Akademi Halkbilimi Dergisi, 13(29), 483–501. https://doi.org/10.12981/mahder.673262

Lazer, D. M. J., Baum, M. A., Benkler, Y., Berinsky, A. J., Greenhill, K. M., Menczer, F., Metzger, M. J., Nyhan, B., Pennycook, G., Rothschild, D., Schudson, M., Sloman, S. A., Sunstein, C. R., Thorson, E. A., Watts, D. J., & Zittrain, J. L. (2018). The science of fake news. Science, 359(6380), 1094–1096. https://doi.org/10.1126/science.aao2998

Lewandowsky, S., Ecker, U. K. H., Seifert, C. M., Schwarz, N., & Cook, J. (2012). Misinformation and its correction: Continued influence and successful debiasing. Psychological Science in the Public Interest, 13 (3), 106–131. https://doi.org/10.1177/1529100612451018

McGrew, S., Ortega, T., Breakstone, J., & Wineburg, S. (2017). The challenge that's bigger than fake news: Civic reasoning in a social media environment. American Educator, 41(3), 4–9, 39. https://www.aft.org/sites/default/files/ae_fall2017_mcgrew.pdf

Nisbet, M. C., Brossard, D., & Kroepsch, A. (2003). Framing science: The stem cell controversy in an age of press/politics. The Harvard International Journal of Press/Politics, 8(2), 36–70. https://doi.org/10.1177/1081180X02251047

Pennycook, G., Epstein, Z., Mosleh, M., Arechar, A. A., Eckles, D., & Rand, D. G. (2021). Shifting attention to accuracy can reduce misinformation online. Nature, 592, 590–595. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03344-2

Pennycook, G., & Rand, D. G. (2021). The psychology of fake news. Trends in Cognitive Sciences, 25(5), 388–402. https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.02.007

Pennycook, G., & Rand, D. G. (2022). Accuracy prompts are a replicable and generalizable approach for reducing the spread of misinformation. Nature Communications, 13, Article 2333. https://doi.org/10.1038/s41467-022-30073-5

Roozenbeek, J., van der Linden, S., Goldberg, B., Rathje, S., & Lewandowsky, S. (2022). Psychological inoculation improves resilience against misinformation on social media. Science Advances, 8(34), Article eabo6254. https://doi.org/10.1126/sciadv.abo6254

Tandoc, E. C., Jr., Lim, Z. W., & Ling, R. (2018). Defining "fake news": A typology of scholarly definitions. Digital Journalism, 6(2), 137–153. https://doi.org/10.1080/21670811.2017.1360143

UNESCO. (2021). Media and information literate citizens: Think critically, click wisely! https://www.unesco.org/en/articles/media-and-information-literate-citizens

Vosoughi, S., Roy, D., & Aral, S. (2018). The spread of true and false news online. Science, 359(6380), 1146–1151. https://doi.org/10.1126/science.aap9559

Wardle, C. (2019). Understanding information disorder. First Draft. https://firstdraftnews.org/wp-content/uploads/2019/10/Information_Disorder_Digital_AW.pdf

Wardle, C., & Derakhshan, H. (2017). Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making (Report No. DGI(2017)09). Council of Europe. https://shorensteincenter.org/wp-content/uploads/2017/10/Information-Disorder-Toward-an-interdisciplinary-framework.pdf

Wineburg, S., & McGrew, S. (2019). Lateral reading and the nature of expertise: Reading less and learning more when evaluating digital information. Teachers College Record, 121(11), 1–40. https://doi.org/10.1177/016146811912101102

NUTRITION LITERACY AND SUSTAINABLE EATING BEHAVIORS AMONG ADULT WOMEN

Dyt. Zeynep Beyzanur ÖZMEN
Selcuk University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0009-0009-3423-1812
Doç. Dr. Gülperi DEMİR
Selcuk University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0000-0002-7362-3335

ABSTRACT
Sustainable eating behaviors contribute to human health and environmental sustainability. Nutrition literacy may be associated with the adoption of these behaviors. This study aimed to examine the relationship between nutrition literacy and sustainable eating behaviors among adult women. This cross-sectional study included 259 women aged 20–65 years (mean age: 38.9 ± 10.7 years) residing in Konya and Ankara, Türkiye. Data were collected using an online questionnaire comprising sociodemographic characteristics, the Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale (SHEBS), and the Nutrition Literacy Assessment Tool for Adults (EINLA). The mean SHEBS and EINLA total scores were 4.4 ± 1.1 and 25.17 ± 4.78, respectively. Overall, 65.64% of participants had adequate nutrition literacy. SHEBS total scores were significantly higher among women aged 36–65 years than among those aged 20–35 years ($p=0.006$) and among rural residents compared with urban residents ($p<0.05$). EINLA total scores were significantly higher among women aged 20–35 years than among those aged 36–65 years ($p=0.035$). Nutrition literacy scores also differed significantly by educational level, with university and postgraduate graduates scoring higher than women with lower educational levels ($p<0.001$). No significant correlation was found between SHEBS and EINLA total scores ($r=0.083$, $p>0.05$). Overall nutrition literacy was not significantly associated with sustainable eating behaviors. However, the two outcomes showed different patterns across age groups, suggesting that nutrition literacy and sustainable eating behaviors may reflect distinct aspects of dietary knowledge and practices.
Keywords: Nutrition literacy; sustainable eating behaviors; adult women; sustainable diets.

1. INTRODUCTION
Sustainable and healthy diets are important for promoting human health while reducing the environmental impact of food systems. According to the Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (FAO and WHO, 2019), sustainable healthy diets aim to promote health and well-being while minimizing environmental pressures and impacts. These dietary patterns emphasize nutritionally adequate food choices, environmental sustainability, and sociocultural acceptability. The consumption of plant-based, local, and seasonal foods, together with efforts to reduce food waste, represents an important component of sustainable dietary practices (Willett et al., 2019).
Nutrition literacy is another important factor in dietary decision-making. It encompasses individuals' ability to obtain, understand, evaluate, and apply nutrition-related information to make appropriate food choices. Nutrition literacy can be considered within functional, interactive, and critical dimensions, reflecting different levels of understanding and applying

nutritional information (Velardo, 2015). These competencies may contribute to healthier food choices and potentially support sustainable dietary practices. However, nutrition knowledge and the ability to interpret dietary information do not necessarily translate into corresponding eating behaviors.

Women may play an important role in household food purchasing, meal preparation, and dietary decisions. Therefore, examining nutrition literacy and sustainable eating behaviors among women may provide valuable insights into the relationship between nutritional competencies and dietary practices. Although both concepts are relevant to public health, their relationship requires further investigation. This study aimed to examine the association between nutrition literacy and sustainable eating behaviors among adult women and to evaluate differences in these outcomes according to sociodemographic characteristics.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study Design and Participants

This descriptive, cross-sectional study was conducted between February and May 2025 among adult women residing in Konya and Ankara, Türkiye. The study included 259 women aged 20–65 years who voluntarily participated in the research. Eligibility criteria included being female, being literate, residing in either city, and having no communication barriers.

2.2. Data Collection and Instruments

Data were collected through an online questionnaire administered using Google Forms. Consent to participate was obtained electronically from all participants. The questionnaire included sociodemographic characteristics, the Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale (SHEBS), and the Nutrition Literacy Assessment Tool for Adults (EINLA).

The SHEBS was originally developed by Żakowska-Biemans et al. (2019) to assess sustainable and healthy dietary behaviors. The Turkish version, validated by Köksal et al. (2023), comprises seven subscales addressing different dimensions of sustainable eating. Items are rated on a seven-point Likert scale, with higher scores indicating stronger sustainable eating behaviors. The reported Cronbach's alpha coefficient for the Turkish version was 0.912.

Nutrition literacy was assessed using the EINLA developed by Cesur et al. (2015). The instrument includes five domains: general nutrition knowledge, reading comprehension and interpretation, food groups, portion sizes, and food labels and calculation. Correct answers are scored as 1 and incorrect answers as 0. Total scores are used to classify nutrition literacy as inadequate, borderline, or adequate. The reported Cronbach's alpha coefficient was 0.75.

2.3. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics version 27.0. Descriptive statistics were presented as frequencies, percentages, means, and standard deviations. Independent-samples t-tests and one-way analysis of variance (ANOVA) were used to compare scale scores across sociodemographic groups. Pearson correlation analysis was performed to examine relationships between SHEBS and EINLA scores. Statistical significance was set at $p<0.05$.

3. RESULTS and DISCUSSION

Table 1. Sociodemographic Characteristics of Participants (N = 259)

Characteristics	n	%
Age group (years)		
20–35	100	38.6
36–65	159	61.4
Educational level		
Primary school	29	11.2
Secondary school	24	9.3
High school	40	15.4
Undergraduate degree	144	55.6
Postgraduate degree	22	8.5
Employment status		
Employed	80	30.9
Unemployed	179	69.1
Marital status		
Single	55	21.2
Married	204	78.8
Place of residence		
Urban	243	93.8
Rural	16	6.2
Perceived income level		
Income equal to expenses	151	58.3
Income higher than expenses	60	23.2
Income lower than expenses	48	18.5

A total of 259 adult women participated in the study. Of these, 61.4% were aged 36–65 years, 55.6% had an undergraduate degree, and 69.1% were not employed. Most participants were married (78.8%) and lived in urban areas (93.8%). Regarding perceived income, 58.3% reported that their income was equal to their expenses (Table 1).

Table 2. Descriptive Statistics of Sustainable and Healthy Eating Behaviors and Nutrition Literacy Scores

Scales and subscales	Mean ± SD	Min–Max
Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale (SHEBS)		
Quality labels (local and organic)	4.40 ± 1.30	1.75–6.63
Seasonal foods and food waste avoidance	4.80 ± 1.30	1.86–6.86
Animal welfare	4.10 ± 1.20	1–7

Scales and subscales	Mean ± SD	Min–Max
Reduced meat consumption	3.96 ± 1.02	1–7
Healthy and balanced eating	4.96 ± 0.60	1–7
Local food consumption	3.50 ± 1.40	1–7
Low-fat eating	4.80 ± 1.01	1–7
SHEBS total score	**4.40 ± 1.10**	**1–7**
Nutrition Literacy Assessment Tool for Adults (EINLA)		
General nutrition knowledge	8.75 ± 1.33	1–10
Reading comprehension and interpretation	5.39 ± 0.82	1–6
Food groups	6.92 ± 2.95	0–10
Portion sizes	1.47 ± 0.68	0–3
Food labels and calculation	2.61 ± 1.53	0–5
EINLA total score	**25.17 ± 4.78**	**6–33**

SD: Standard deviation; Min–Max: Observed minimum and maximum scores.

The mean SHEBS total score was 4.40 ± 1.10. Among its subscales, the highest mean score was observed for healthy and balanced eating (4.96 ± 0.60), while the lowest was observed for local food consumption (3.50 ± 1.40). The mean EINLA total score was 25.17 ± 4.78, with observed scores ranging from 6 to 33 (Table 2).

Overall, 65.64% of participants had adequate nutrition literacy. This proportion was lower than the 83.7% reported by Özenoğlu et al. (2021) but higher than the 52.4% reported by Pınarlı (2019). Differences in participant characteristics may contribute to these variations.

Table 3. Comparison of SHEBS and EINLA Total Scores According to Sociodemographic Characteristics

Characteristics	n	SHEBS (Mean ± SD)	p	EINLA (Mean ± SD)	p
Age group (years)			**0.006**		**0.035**
20–35	100	4.19 ± 0.81		25.90 ± 4.85	
36–65	159	4.46 ± 0.77		24.55 ± 5.08	
Educational level			0.640		**<0.001**
Primary school	29	4.57 ± 0.72		22.66 ± 4.58	
Secondary school	24	4.29 ± 0.67		21.38 ± 6.16	
High school	40	4.38 ± 0.90		23.95 ± 5.61	

Characteristics	n	SHEBS (Mean ± SD)	p	EINLA (Mean ± SD)	p
Undergraduate degree	144	4.33 ± 0.84		26.10 ± 4.32	
Postgraduate degree	22	4.29 ± 0.54		27.59 ± 3.91	
Employment status			0.769		0.063
Employed	80	4.38 ± 0.79		25.94 ± 4.54	
Not employed	179	4.35 ± 0.80		24.68 ± 5.19	
Marital status			0.092		0.237
Single	55	4.20 ± 0.83		25.78 ± 4.66	
Married	204	4.40 ± 0.78		24.88 ± 5.11	
Place of residence			**0.006**		0.135
Urban	243	4.32 ± 0.80		25.19 ± 4.92	
Rural	16	4.88 ± 0.62		23.25 ± 6.30	
Perceived income level			0.328		**0.037**
Income lower than expenses	48	4.24 ± 0.84		24.81 ± 4.73	
Income equal to expenses	151	4.42 ± 0.79		24.58 ± 5.14	
Income higher than expenses	60	4.30 ± 0.77		26.52 ± 4.76	

Values are presented as mean ± standard deviation (SD). SHEBS: Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale; EINLA: Nutrition Literacy Assessment Tool for Adults. Independent-samples t-tests and one-way ANOVA were used as appropriate.

SHEBS total scores were significantly higher among women aged 36–65 years than among those aged 20–35 years (4.46 ± 0.77 vs. 4.19 ± 0.81; p=0.006). Similarly, women living in rural areas had significantly higher SHEBS total scores than those living in urban areas (4.88 ± 0.62 vs. 4.32 ± 0.80; p=0.006). No significant differences in SHEBS total scores were observed according to educational level, employment status, marital status, or perceived income level (p>0.05). In contrast, EINLA total scores were significantly higher among women aged 20–35 years than among those aged 36–65 years (25.90 ± 4.85 vs. 24.55 ± 5.08; p=0.035). Nutrition literacy scores also differed significantly according to educational level (p<0.001), with university and postgraduate graduates scoring higher than women with lower educational levels. A significant difference was also observed according to perceived income level (p=0.037), with higher EINLA scores among women reporting income higher than expenses compared with those reporting income equal to expenses. However, EINLA total scores did not differ significantly according to employment status, marital status, or place of residence (p>0.05) (Table 3).

The contrasting age-related patterns suggest that nutrition literacy and sustainable eating behaviors may not necessarily follow similar trends. Higher nutrition literacy scores among

women with higher educational levels are consistent with findings reported by Pınarlı (2019) and Demir Özdenk and Özcebe (2018). Although sustainable eating behavior scores were higher among rural residents, this finding should be interpreted cautiously because only 16 participants lived in rural areas.

Table 4. Pearson Correlations Between Sustainable and Healthy Eating Behaviors and Nutrition Literacy Scores

SHEBS subscales	General nutrition knowledge	Reading comprehension and interpretation	Food groups	Portion sizes	Food labels and calculation	**EINLA total**
Quality labels (local and organic)	0.026	0.182**	0.052	−0.078	0.096	0.084
Seasonal foods and food waste avoidance	0.058	0.153*	0.148*	−0.056	0.126*	0.165**
Animal welfare	−0.059	0.078	0.039	−0.030	0.067	0.041
Reduced meat consumption	−0.007	0.001	−0.091	0.021	−0.080	−0.082
Healthy and balanced eating	0.088	0.185**	0.063	−0.030	0.076	0.116
Local food consumption	−0.084	−0.011	−0.035	−0.039	−0.033	−0.054
Low-fat eating	0.104	0.165**	0.178**	−0.027	0.120	0.184**
SHEBS total	**0.018**	**0.141***	**0.066**	**−0.046**	**0.069**	**0.083**

Values represent Pearson correlation coefficients (r). *p<0.05; **p<0.01 (two-tailed). SHEBS: Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale; EINLA: Nutrition Literacy Assessment Tool for Adults.

No significant correlation was found between SHEBS and EINLA total scores (r=0.083, p>0.05). However, SHEBS total scores showed a weak positive correlation with the reading comprehension and interpretation subscale of EINLA (r=0.141, p<0.05). EINLA total scores were weakly and positively correlated with seasonal food consumption and food waste avoidance (r=0.165, p<0.01) and low-fat eating behaviors (r=0.184, p<0.01). Other significant correlations between the subscales were also weak (Table 4).

The absence of a significant correlation between the total scores differs from findings reported by Mortaş et al. (2023), who identified significant associations between food and nutrition literacy and several sustainable eating behaviors, including seasonal food consumption and food waste avoidance. Similarly, Yeşildemir (2023) reported positive associations between sustainable eating behaviors and e-healthy nutrition literacy. Differences in participant characteristics and assessment instruments may partly explain these findings. Overall, the present results suggest that general nutrition literacy does not necessarily correspond to stronger sustainable eating behaviors. The weak subscale correlations should be interpreted cautiously given the number of comparisons performed.

4. CONCLUSIONS

This study found no significant association between overall nutrition literacy and sustainable eating behaviors among adult women. However, weak positive correlations were observed between specific dimensions of nutrition literacy and sustainable eating behaviors. Sustainable

eating behavior scores were higher among older women and rural residents, whereas nutrition literacy scores were higher among younger women and those with higher educational levels. These findings suggest that nutrition literacy and sustainable eating behaviors may represent distinct but partially related aspects of dietary practices.

Educational initiatives may benefit from addressing specific areas of nutrition literacy, particularly portion size estimation and food label interpretation, while also promoting sustainable dietary practices such as seasonal and local food consumption and food waste reduction. However, the cross-sectional design, geographically limited sample, and small number of rural participants should be considered when interpreting the findings. Further studies involving more diverse populations are needed to clarify the relationships between nutrition literacy and sustainable eating behaviors.

REFERENCES

Cesur, B., Koçoğlu, G., & Sümer, H. (2015). Evaluation instrument of nutrition literacy on adults (EINLA): A validity and reliability study. Integrative Food, Nutrition and Metabolism, 2(1), 127–130. https://doi.org/10.15761/IFNM.1000114

Demir Özdenk, G., & Özcebe, L. H. (2018). Bir üniversite çalışanlarının beslenme okuryazarlığı, beslenme davranışları ve ilişkili faktörler. Turkish Journal of Public Health, 16(3), 178–189. https://doi.org/10.20518/tjph.499902

Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (2019). Sustainable healthy diets: Guiding principles. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Köksal, E., Bilici, S., Çıtar Dazıroğlu, M. E., & Erdoğan Gövez, N. (2023). Validity and reliability of the Turkish version of the Sustainable and Healthy Eating Behaviors Scale. British Journal of Nutrition, 129(8), 1398–1404. https://doi.org/10.1017/S0007114522002525

Mortaş, H., Navruz-Varlı, S., Çıtar-Dazıroğlu, M. E., & Bilici, S. (2023). Can unveiling the relationship between nutritional literacy and sustainable eating behaviors survive our future? Sustainability, 15(18), Article 13925. https://doi.org/10.3390/su151813925

Özenoğlu, A., Gün, B., Karadeniz, B., Koç, F., Bilgin, V., Bembeyaz, Z., & Saha, B. S. (2021). Yetişkinlerde beslenme okuryazarlığın sağlıklı beslenmeye ilişkin tutumlar ve beden kütle indeksi ile ilişkisi. Life Sciences, 16(1), 1–18. https://izlik.org/JA86NH67MX

Pınarlı, Ç. (2019). Kadınlarda beslenme okuryazarlığı ve beslenme durumu ile tip 2 diyabet riski arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi, Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi].

Velardo, S. (2015). The nuances of health literacy, nutrition literacy, and food literacy. Journal of Nutrition Education and Behavior, 47(4), 385–389.e1. https://doi.org/10.1016/j.jneb.2015.04.328

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., Afshin, A., … Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. The Lancet, 393(10170), 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Yeşildemir, Ö. (2023). Yetişkin bireylerde sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları ile e-sağlıklı beslenme okuryazarlığı ve beslenme bilgi düzeyi arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(3), 250–260. https://doi.org/10.34087/cbusbed.1307125

Żakowska-Biemans, S., Pieniak, Z., Kostyra, E., & Gutkowska, K. (2019). Searching for a measure integrating sustainable and healthy eating behaviors. Nutrients, 11(1), Article 95. https://doi.org/10.3390/nu11010095

KADIN ÇALIŞANLARDA BAŞA ÇIKMA STRATEJİLERİNİN ZAMAN İÇİNDEKİ DÖNÜŞÜMÜ

Doç. Dr. Ömer Faruk COŞKUN
Hatay Mustafa Kemal University, Antakya Vocational School, Department of Foreign Trade, 31060 Antakya, Hatay
ORCID ID: 0000-0002-9616-2359

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, kadın çalışanların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle başa çıkarken kullandıkları stratejilerin zaman içerisinde nasıl değiştiğini incelemektir. Nitel araştırma yaklaşımının benimsendiği çalışmada, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme yoluyla belirlenen, 8 ile 28 yıl arasında iş deneyimine sahip yedi kadın çalışandan yarı yapılandırılmış görüşme formuyla veri toplanmıştır. Elde edilen veriler içerik analiziyle değerlendirilerek dört ana tema altında sınıflandırılmıştır. Bulgular, kadın çalışanların çalışma yaşamında işe uyum, kendini kanıtlama baskısı, yönetsel sorunlar, örgütsel haksızlıklar ve iş-aile sorumlulukları gibi çeşitli güçlüklerle karşılaştıklarını göstermektedir. Çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kaygı, fazla çalışma, fedakârlık, koşullara uyum sağlama ve bazı sorunları görmezden gelme gibi başa çıkma biçimleri öne çıkarken, deneyim arttıkça sakinlik, çözüm odaklılık, planlı hareket etme, kişisel sınır koyma, seçici güven ve iş-özel yaşam ayrımı daha belirgin hale gelmiştir. Bununla birlikte, başa çıkma stratejilerindeki değişimin bütün katılımcılarda aynı yönde gerçekleşmediği belirlenmiştir. Bazı katılımcılar deneyim kazandıkça haklarını daha fazla savunmaya yönelirken, bazıları belirli durumlarda sessiz kalmayı veya geri çekilmeyi tercih etmiştir. Araştırma sonucunda, kadın çalışanların başa çıkma stratejilerinin sabit olmadığı, çalışma yaşamında edinilen deneyim ve öğrenmeler doğrultusunda yeniden şekillendiği anlaşılmıştır. Özellikle kendini kanıtlamaya yönelik davranışlardan kişisel sınırları ve psikolojik kaynakları korumaya yönelik stratejilere geçiş dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda başa çıkmanın, farklı durumlara uygun stratejilerin seçilmesiyle gelişen, deneyim ve öğrenme temelli dinamik bir süreç olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar kelimeler: Kadın çalışanlar, başa çıkma stratejileri, başa çıkma esnekliği, çalışma yaşamı, nitel araştırma.

THE TRANSFORMATION OF COPING STRATEGIES AMONG WOMEN EMPLOYEES OVER TIME

ABSTRACT
This study aims to examine the difficulties women employees encounter in their working lives and how their coping strategies change over time. Adopting a qualitative research approach, data were collected through semi-structured interviews with seven women employees who had between 8 and 28 years of work experience and were selected using criterion sampling, a purposive sampling method. The data were analyzed through content analysis and classified into four main themes. The findings indicate that women employees encounter various difficulties, including workplace adjustment, pressure to prove themselves, managerial problems, organizational injustices, and work-family responsibilities. During the early stages of working life, anxiety, excessive working, self-sacrifice, adaptation to existing conditions, and ignoring certain problems were prominent coping strategies. As experience increased,

calmness, solution-oriented approaches, planning, setting personal boundaries, selective trust, and work-life separation became more evident. However, changes in coping strategies did not follow the same direction for all participants. While some participants became more willing to defend their rights, others preferred remaining silent or withdrawing in certain situations. The study concludes that coping strategies are not fixed but are reshaped through experience and learning throughout working life. Particularly noteworthy is the transition from efforts to prove oneself toward strategies aimed at protecting personal boundaries and psychological resources. Accordingly, coping emerges as a dynamic, experience- and learning-based process involving the selection of appropriate strategies for different situations.
Keywords: Women employees, coping strategies, coping flexibility, working life, qualitative research.

1. GİRİŞ

Deloitte'un Women At Work raporları (2022, 2025), kadın çalışanların iş yaşamındaki stres deneyimlerinin zaman içinde değiştiğini göstermektedir. 2022 yılında kadınların %53'ü stres düzeylerinin bir önceki yıla göre arttığını belirtirken, bu oran 2025 yılında %36'ya gerilemiştir (Deloitte, 2022; Deloitte, 2025). Bu değişim, kadınların çalışma koşullarına uyum sağlama ve karşılaştıkları güçlüklerle başa çıkma biçimlerinin zaman içerisinde nasıl şekillendiği sorusunu daha önemli hale getirmektedir.

Kadınların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükler, işe giriş sürecindeki engeller (Son Hing vd., 2023), kariyer ilerlemesi ve terfi süreçlerinde karşılaşılan güçlükler (Heilman vd., 2024) ile farklı örgütsel uygulamalarda ortaya çıkan kariyer engellerini (Coşkun, 2021) kapsayan çok boyutlu bir nitelik taşımaktadır. Bu güçlüklerle karşılaşan kadınlar ise önceliklendirme ve öz-yönetim (Valk ve Srinivasan, 2011), aktif başa çıkma, planlama ve sosyal destek arama (Murray ve Ali, 2017) ile kaçınma, görmezden gelme ve geri çekilme gibi stratejilere (Saeed vd., 2022) başvurabilmektedir. Dolayısıyla kadınların çalışma yaşamındaki deneyimlerini yalnızca karşılaştıkları sorunlar üzerinden değerlendirmek yeterli değildir; söz konusu sorunları nasıl anlamlandırdıklarının ve bunlarla baş edebilmek için geliştirdikleri davranışların da incelenmesi gerekmektedir. Bu araştırma, kadın çalışanların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle başa çıkarken geliştirdikleri stratejileri kendi deneyimleri üzerinden anlamayı amaçlaması bakımından önem taşımaktadır.

Başa çıkma stratejileri değişmez davranış kalıpları olmayıp, bireyin karşılaştığı koşulların, sahip olduğu kaynakların ve zaman içerisinde edindiği deneyimlerin etkisiyle yeniden şekillenebilmektedir. Kurth vd. (2025), farklı başa çıkma stratejilerinin kullanımının on yıllık bir süreç içerisinde değiştiğini ortaya koyarken, Smollan (2017) çalışanların örgütsel değişimin farklı aşamalarında farklı stratejilere yöneldiklerini ve yaşadıkları deneyimlerden problem çözme, duyguları yönetme ve destek alma konusunda yeni yollar öğrendiklerini göstermiştir. Cheng vd. (2012) ise bireylerin farklı durumların gerekliliklerini ayırt ederek uygun başa çıkma stratejileri arasında geçiş yapabilme becerisinin geliştirilebildiğini belirtmektedir. Kadınların kariyer deneyimleri açısından da farklı şoklar karşısında birden fazla başa çıkma stratejisinin birlikte kullanılabildiği görülmektedir (Khattar vd., 2026). Bu nedenle mevcut araştırmanın odağını kadınların hangi başa çıkma stratejilerini kullandıklarından çok, çalışma yaşamında edindikleri deneyimlerle bu stratejilerin nasıl değiştiği, hangi davranışların terk edildiği, hangilerinin benimsendiği ve bu dönüşümün nasıl anlamlandırıldığı oluşturmaktadır.

Geçmiş çalışmalar kadın çalışanların başa çıkma deneyimlerini farklı bağlamlarda ele almıştır. Beşpınar (2010) kadınların işle ilgili stratejilerini, Valk ve Srinivasan (2011) iş-aile dengesi karşısındaki başa çıkma biçimlerini, Murray ve Ali (2017) ayrımcılık karşısında geliştirilen

stratejileri, Saeed vd. (2022) damgalanmayla başa çıkmayı, Mousa (2024) ve Khattar vd. (2026) ise kariyer şokları karşısında kadınların kullandıkları farklı başa çıkma yollarını incelemiştir. Bununla birlikte, başa çıkmanın zaman içerisindeki değişimini ele alan çalışmaların önemli bir kısmı, kadın çalışanların bütün çalışma yaşamı deneyimine değil; örgütsel değişim süreçlerine (Smollan, 2017), yaşa bağlı başa çıkma farklılıklarına (Kurth vd., 2025) ve belirli kariyer şoklarına (Khattar vd., 2026) odaklanmaktadır. Bu araştırma ise kadın çalışanların çalışma yaşamlarının başlangıcından bugüne kadar geçen süreçte konuşma veya sessiz kalma, sınır koyma, destek arama, sorunları kabullenme ya da doğrudan müdahale etme gibi başa çıkma biçimlerinin nasıl dönüştüğünü geriye dönük deneyimleri üzerinden inceleyerek literatüre süreç odaklı bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Böylece çalışma, başa çıkmayı yalnızca kullanılan stratejilerin bir listesi olarak değil, deneyim ve öğrenmeyle şekillenen dinamik bir dönüşüm süreci olarak ele alarak kadın çalışanların başa çıkma literatürüne katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

2. KADINLARIN ÇALIŞMA YAŞAMINDA KARŞILAŞTIKLARI GÜÇLÜKLER

Kadınlar, kariyer ilerlemelerinin farklı aşamalarında erkeklere kıyasla daha fazla güçlükle karşılaşabilmektedir (Heilman vd., 2024: 116). Bu güçlükler, çalışma yaşamına girişten kariyerin ileri aşamalarına kadar farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. İşe alım, adayların ön değerlendirilmesi, mülakat ve nihai işe alma kararlarında toplumsal cinsiyet eşitliğini zedeleyen uygulamalar kadınların örgütlere girişini zorlaştırabilmektedir (Son Hing vd., 2023: 6). Michailidis vd. (2012) ise kadınların kariyer gelişimini sınırlandıran unsurlar arasında kalıp yargıları, iş ve aile yükümlülüklerinin çatışmasını, kadın rol modellerinin eksikliğini ve düşük öz güven düzeyini öne çıkarmaktadır. Bunun yanında kadınların hırslı davranmaları, terfi talep etmeleri veya liderlik pozisyonları için rekabet etmeleri gibi kariyer gelişimi açısından gerekli davranışların dahi zaman zaman olumsuz sonuçlara yol açabildiği belirtilmektedir (Heilman vd., 2024: 178). Kadınların karşılaştıkları sorunların yalnızca terfi ve liderlik süreçleriyle sınırlı olmadığı, farklı örgütsel uygulamalarda ve hiyerarşik düzeylerde ortaya çıktığı da görülmektedir (Coşkun, 2021). Bu çerçevede işe alım süreci, ücret sistemi ve terfi mekanizmaları kadın çalışanların kariyerlerinde karşılaştıkları temel engel alanları arasında yer almaktadır (Coşkun, 2021: 2057). Ayrıca kadınların erkeklere kıyasla daha fazla cinsel taciz ve aile talepleriyle karşılaşmaları, bu deneyimlerin iş-aile çatışmasıyla birleşerek örgütsel eşitsizlikleri derinleştirmesine neden olabilmektedir (Son Hing vd., 2023: 8).

Kadınların çalışma yaşamındaki dezavantajları performans değerlendirme, terfi ve liderlik süreçlerinde de belirginleşmektedir. Üst düzey yönetim pozisyonlarında kadınların terfi edebilmek için daha yüksek performans değerlendirme puanlarına ihtiyaç duyabildiği ve örgütsel hiyerarşide yükseldikçe çifte standartların devam edebildiği belirtilmektedir (Lyness ve Heilman, 2006; Paustian-Underdahl vd., 2024). Benzer şekilde, kadınların cam tavanı aşma yolunda önemli ilerleme kaydetmiş olsalar bile erkek meslektaşlarından daha büyük engellerle karşılaşmaya devam ettikleri görülmektedir (Lyness ve Heilman, 2006: 782). Bu durum, erkek egemen iş bağlamlarında erkeklerin başarılarının daha kolay takdir edilip ödüllendirilmesine karşılık kadınların başarılarının kimi zaman olumsuz değerlendirilmesiyle de kendini gösterebilmektedir (Heilman vd., 2024: 180). Öte yandan kadınların liderlik rollerine ulaşma sürecinde daha yüksek standartlara tabi tutulmaları ve fırsat eksikliklerinin kariyer boyunca birikmesi, eşitsizliğin süreklilik gösteren bir yönüne işaret etmektedir (Son Hing vd., 2023: 9). Lyness ve Heilman'ın (2006) bulgularında terfi eden kadınların terfi eden erkeklerden daha yüksek performans puanlarına sahip olması da kadınların kariyer ilerlemesinde daha üstün başarı göstermelerinin beklendiğini düşündürmektedir. Kadın çalışanların karşılaştıkları güçlükler aile sorumluluklarıyla birleştiğinde daha da karmaşık hale gelebilmektedir. Çalışan

bekâr anneler üzerine yapılan bir araştırmada kariyer planlama, terfi ve ücretlendirme, yönetici ve iş arkadaşlarıyla ilişkiler ile iş performansı temel sorun alanları olarak belirlenmiş; katılımcılar çalışan anne olmalarının performanslarını olumsuz etkileyebildiğini ifade etmiştir (Coşkun, 2022). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kadınların çalışma yaşamındaki güçlüklerinin tek bir aşamada ortaya çıkan münferit sorunlardan çok, kariyerin farklı dönemlerine yayılan çok boyutlu engellerden oluştuğu görülmektedir.

3. ÇALIŞMA YAŞAMINDA BAŞA ÇIKMA STRATEJİLERİ

Dewe vd. (1993:7) başa çıkmayı bireyin stresli bir durumla karşılaştığını fark etmesinin ardından, bu durumun kendisi veya sonuçlarıyla baş edebilmek amacıyla benimsediği bilişsel ve davranışsal çabalar şeklinde ifade etmektedir. Bu çabalar, bireyin kapasitesini ve kaynaklarını zorlayan işle ilgili durumlara verdiği tepkileri kapsamaktadır. Başa çıkma, bireyden veya çevreden bağımsız sabit bir özellikten ziyade, birey ile çevresi arasındaki ilişkinin bir sonucu olarak ortaya çıkan ve stres sürecinin diğer bileşenleriyle etkileşim içerisinde gelişen dinamik bir süreçtir (Dewe vd., 1993: 7). Bu süreçte bireyin stresli durumu nasıl değerlendirdiği, kullanacağı başa çıkma stratejisinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma ortamındaki günlük stres deneyimlerini inceleyen Hulin vd. (2024), başa çıkmayı problem odaklı başa çıkma, duygu odaklı başa çıkma ve sosyal destek arama olmak üzere üç temel yaklaşım üzerinden ele almıştır. Hulin vd.'nin (2024) çalışmasının bulguları da stresin değerlendirilme biçimi ile kullanılan strateji arasında ilişki bulunduğunu; meydan okuma olarak değerlendirilen stresin problem odaklı başa çıkmayı, tehdit olarak değerlendirilen stresin ise duygu odaklı başa çıkmayı öngördüğünü göstermiştir.

Başa çıkma stratejilerinin işlevselliği ise yalnızca kullanılan stratejinin türüne değil, stresli durumun özelliklerine ve farklı stratejilerin nasıl bir arada kullanıldığına da bağlıdır. Shimazu ve Schaufeli (2007: 423), problem odaklı başa çıkmanın stresli durumu değiştirmeye yönelik bilgi arama, planlama ve harekete geçme gibi çabaları; duygu odaklı başa çıkmanın ise dikkat dağıtma, olumlu yeniden değerlendirme ve duygusal destek arama gibi stresin yarattığı duygusal sıkıntıyı düzenlemeye yönelik çabaları içerdiğini belirtmektedir. Bununla birlikte, araştırmacılar bir başa çıkma stratejisinin etkisinin stres kaynağının türüne, kontrol edilebilirliğine ve süresine göre değişebileceğini; aynı stratejinin farklı durumlarda farklı sonuçlar ortaya çıkarabileceğini vurgulamaktadır (Shimazu ve Schaufeli, 2007: 424).

Bir yıllık boylamsal araştırmada problem odaklı başa çıkma ile dikkati başka yöne yöneltmenin birlikte kullanılmasının daha düşük stres tepkileriyle ve yüksek iş stresi koşullarında daha yüksek iş performansıyla ilişkili olduğu görülmüştür (Shimazu ve Schaufeli, 2007). Bu durum, başa çıkmada tek ve değişmez bir stratejiden ziyade duruma uygun stratejiler geliştirilmesinin önemine işaret etmektedir. Cheng vd. (2012) bu noktayı başa çıkma esnekliği kavramıyla açıklamakta ve başa çıkmayı, durumlar arasında görece sabit kalan bir özellikten ziyade çevresel değişimlere duyarlı dinamik bir süreç olarak değerlendirmektedir. Başa çıkma esnekliği yüksek bireyler, farklı stresli durumların gerekliliklerini daha iyi ayırt ederek uygun stratejiler arasında geçiş yapabilmektedir (Cheng vd., 2012: 272).

4. KADIN ÇALIŞANLARIN BAŞA ÇIKMA DENEYİMLERİ

Kadın çalışanların başa çıkma deneyimleri, karşılaştıkları güçlüğün niteliğine ve içinde bulundukları sosyal bağlama göre farklılaşmaktadır. Türkiye'de farklı sınıflardan kadınlarla yapılan araştırmada; geleneksel rolleri kabullenme, hareket alanı kazanmak için örtük davranışlar geliştirme, tavizler üzerinden müzakere etme ve yapısal sınırlılıkları telafi etmeye çalışma gibi farklı stratejiler belirlenmiştir (Beşpınar, 2010: 523). Nijeryalı kadın doktorların ise iş-aile çatışmasıyla baş ederken aile ağlarından destek alma, çocuk bakımını başkalarına devretme ve benzer deneyimleri yaşayan kadın meslektaşlarıyla sorunlarını paylaşma yollarına

başvurdukları görülmüştür (Akanji vd., 2020: 1010). Benzer biçimde Hintli kadın bilişim çalışanlarının başa çıkma deneyimleri, iş ve aile sorumluluklarını önceliklendirme ve kişisel öz-yönetim etrafında şekillenmiştir (Valk ve Srinivasan, 2011: 44).

Kadınların başa çıkma biçimleri yalnızca problem çözmeye yönelik aktif davranışlarla sınırlı değildir. Müslüman kadın profesyonellerin işyerindeki stresörler karşısında ağırlıklı olarak aktif başa çıkma ve planlamaya yöneldikleri; sosyal destek, kabullenme ve dine yönelmenin de kullanılan stratejiler arasında bulunduğu belirlenmiştir (Murray ve Ali, 2017: 1257). Boşanmış kadın çalışanların ise ayrımcı ortamlarla başa çıkarken kaçınma, olumsuz tutumları görmezden gelme ve boşanmış kimliğini gizleme gibi daha koruyucu stratejiler geliştirdikleri görülmüştür (Saeed vd., 2022: 944). Kadın insani yardım çalışanlarında inanç ve maneviyat; bir başa çıkma mekanizması olarak öne çıkmıştır (Ozcan vd., 2021: 12).

Başa çıkma deneyimleri, kadınların farklı zamanlarda birden fazla stratejiyi birlikte kullanabildiğini de göstermektedir. Kariyer şokları yaşayan Hintli kadınların sosyal destek, maneviyat ve planlı problem çözmenin yanı sıra öz bakım, dikkatini başka yöne verme, kaçınma ve duyguları dışa vurma stratejilerine başvurdukları belirlenmiştir (Khattar vd., 2026: 6). Kadın fabrika çalışanlarında uygulanan stres yönetimi programının bakış açısını değiştirme, duyguları ifade etme ve aktif çözüm arama gibi başa çıkma stratejilerini geliştirdiği görülmüştür (Koseoglu Ornek ve Esin, 2020: 12).

5. BAŞA ÇIKMA STRATEJİLERİNİN ZAMAN İÇERİSİNDE DEĞİŞİMİ: DENEYİM VE ÖĞRENME

Başa çıkma stratejileri, bireyin yaşamı boyunca aynı biçimde kullanılan sabit davranışlar olmaktan çok, karşılaşılan koşullar ve edinilen deneyimlerle değişebilen bir yapı göstermektedir. On yıllık boylamsal verileri inceleyen Kurth vd. (2025: 423, 431), araçsal eylem, inkâr/geri çekilme, olumlu yeniden değerlendirme ve duyguları ifade etme stratejilerinin kullanımının zaman içerisinde değiştiğini ve bu değişimin yaşa göre farklılaştığını belirlemiştir. Daha uzun dönemli bir araştırmada Martin-Joy vd. (2017: 689), 52 ile 75 yaş arasındaki dönemde başa çıkmayla ilişkili savunma biçimlerinin genel olarak daha uyumlu hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, zaman ve yaşam deneyimlerinin bireyin güçlüklerle baş etme biçiminde değişim yaratabileceğine işaret etmektedir.

İş yaşamındaki deneyimler de çalışanların kullandıkları stratejileri yeniden değerlendirmelerine ve yeni başa çıkma yolları öğrenmelerine olanak sağlamaktadır. Örgütsel değişim sürecini inceleyen Smollan (2017: 148), çalışanların değişim öncesinde, değişim sırasında ve sonrasında kullandıkları stratejilerin yeni talepler ortaya çıktıkça farklılaştığını; çalışanların süreçten kendi güçlü yönlerine güvenme, problem çözme, düşünce ve duygularını yönetme ve destek ağlarından yararlanma konusunda dersler çıkardıklarını belirlemiştir. Benzer şekilde Cheng vd. (2012: 283–285), başa çıkma esnekliğinin eğitim yoluyla geliştirilebildiğini ve kazanılan esnekliğin dört aylık izleme döneminde büyük ölçüde korunduğunu göstermiştir. Yazarlar, yalnızca yeni stratejiler öğrenmenin yeterli olmadığını; bireyin hangi stratejinin hangi durumda etkili olacağını öğrenmesinin de gerekli olduğunu vurgulamaktadır (Cheng vd., 2012: 285).

Dolayısıyla deneyim yoluyla gerçekleşen değişim, yalnızca kullanılan stratejilerin sayısının artması değil, stratejilerin değerlendirilmesi, değiştirilmesi ve koşullara uyarlanmasını da içermektedir. Cheng vd.'nin (2014: 1598) meta-analizi, etkili başa çıkmanın uygun stratejiyi seçme, değişen koşullara göre uyarlama ve sonuçlarını izleme becerilerini gerektirdiğini göstermektedir. Kadınların kariyer deneyimleri de bu dinamikliği ortaya koymaktadır. Khattar vd. (2026: 8–9), kadınların birden fazla kariyer şokuyla karşılaştıklarında sosyal destek, maneviyat, problem çözme ve geçici geri çekilme gibi stratejileri birlikte kullandıklarını ve kariyer sürekliliğinin farklı şoklar, başa çıkma tepkileri ve kişisel tercihler sonucunda

şekillenebildiğini belirlemiştir. Mousa'nın (2024: 196) bulguları da kadın akademisyenlerin yeni çalışma koşullarını yorumlama biçimlerinin, kariyer şokuna uyum sağlamak için geliştirdikleri başa çıkma davranışlarını şekillendirdiğini göstermektedir.

6. YÖNTEM

Bu araştırmanın amacı, kadın çalışanların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle başa çıkarken kullandıkları stratejilerin zaman içerisinde nasıl değiştiğini ortaya koymaktır. Araştırmada özellikle kadın çalışanların çalışma yaşamının ilk dönemlerindeki başa çıkma biçimleri ile ilerleyen yıllarda geliştirdikleri stratejiler arasındaki farklılaşmanın, deneyim ve öğrenme süreci çerçevesinde incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmada, kadın çalışanların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle başa çıkma biçimlerinin çalışma yaşamı deneyimi içerisinde nasıl değiştiğini anlamaya yönelik nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Araştırmanın temel odağını, kadın çalışanların yalnızca karşılaştıkları sorunlar veya kullandıkları başa çıkma stratejileri değil, çalışma yaşamının başlangıcından günümüze kadar geçen süreçte bu stratejilerin nasıl dönüştüğü oluşturmaktadır. Bu doğrultuda katılımcıların geçmiş ve mevcut çalışma deneyimlerini karşılaştırmalarına olanak sağlayan görüşme sorularından yararlanılmıştır.

Araştırma kapsamında yedi kadın çalışandan elde edilen görüşme verileri analiz edilmiştir. Katılımcılar K1, K2, K3, K4, K5, K6 ve K7 biçiminde kodlanmış; her bir katılımcının sorulara verdiği yanıtlar katılımcı ve soru numarasının birlikte kullanıldığı bir sistemle gösterilmiştir. Örneğin K1.1 kodu, birinci katılımcının birinci soruya verdiği yanıtı ifade etmektedir. Bu kodlama sistemi, katılımcıların kimliklerinin kullanılmadan görüşlerin sistematik biçimde izlenebilmesine olanak sağlamıştır.

6.1. Araştırmanın çalışma grubu

Araştırmanın katılımcıları, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme kullanılarak belirlenmiştir. Ölçüt örneklemede, araştırmanın amacı doğrultusunda önceden belirlenen belirli özellikleri taşıyan katılımcıların araştırmaya dâhil edilmesi esas alınmaktadır. Bu araştırmada katılımcıların kadın çalışan olmaları ve çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle başa çıkma biçimlerinin zaman içerisindeki değişimini değerlendirebilecek düzeyde iş deneyimine sahip olmaları temel ölçütler olarak dikkate alınmıştır. Verilerin toplanmasında yarı yapılandırılmış görüşme formundan yararlanılmıştır. Görüşme formunda katılımcıların çalışma yaşamının ilk dönemlerinde karşılaştıkları güçlükler, bu güçlüklerle nasıl başa çıktıkları, zaman içerisinde başa çıkma biçimlerinde meydana gelen değişimler, sosyal destek deneyimleri ve çalışma yaşamından edindikleri öğrenmelere ilişkin açık uçlu sorulara yer verilmiştir. Katılımcılardan soruları kendi deneyimlerinden hareketle ayrıntılı biçimde yanıtlamaları istenmiş ve elde edilen yanıtlar analiz edilmek üzere yazılı metne dönüştürülmüştür.

Araştırmaya katılan yedi kadın çalışanın yaşları 31 ile 48 arasında değişmektedir. Katılımcıların eğitim düzeyleri incelendiğinde, bir katılımcının yüksek lisans, dört katılımcının lisans, bir katılımcının ön lisans ve bir katılımcının lise mezunu olduğu görülmektedir. Toplam çalışma süreleri 8 ile 28 yıl arasında değişmekte olup katılımcıların önemli bir bölümünün çalışma yaşamında uzun süreli deneyime sahip olduğu anlaşılmaktadır. Katılımcılar arasında en kısa çalışma süresine sahip çalışan 8 yıllık, en uzun çalışma süresine sahip çalışan ise 28 yıllık iş deneyimine sahiptir. Ayrıca araştırmaya katılan kadın çalışanların hiçbirinin yöneticilik görevi bulunmamaktadır.

6.2. Verilerin analizi

Araştırmada elde edilen görüşme verileri içerik analizi yoluyla değerlendirilmiştir. Analizin temel amacı, katılımcıların ifadelerinde tekrar eden anlam örüntülerini belirlemenin yanı sıra

başa çıkma biçimlerinin zaman içerisindeki değişimini ortaya koymaktır. Bu nedenle analiz yalnızca katılımcıların hangi sorunlarla karşılaştıkları veya hangi başa çıkma stratejilerini kullandıkları üzerinden gerçekleştirilmemiş; çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kullanılan stratejiler ile ilerleyen dönemlerde benimsenen başa çıkma biçimleri arasındaki değişim de dikkate alınmıştır.

Analiz sürecinde öncelikle katılımcıların tüm yanıtları araştırmanın amacı doğrultusunda okunmuş, benzer anlam taşıyan ifadeler kodlar altında bir araya getirilmiştir. Ardından birbirleriyle ilişkili kodlar kategoriler içerisinde sınıflandırılmış ve kategoriler daha geniş anlam örüntülerini temsil eden ana temalar altında toplanmıştır. Bu süreç sonucunda "Çalışma Yaşamında Karşılaşılan Güçlükler", "Çalışma Yaşamının İlk Dönemlerindeki Başa Çıkma Biçimleri", "Deneyimle Birlikte Başa Çıkma Stratejilerinin Dönüşümü" ve "Deneyim Sonucunda Geliştirilen Başa Çıkma İlkeleri" olmak üzere dört ana tema belirlenmiştir.

Kodlama sırasında özellikle katılımcıların geçmiş ve günümüzdeki davranışlarını karşılaştırdıkları ifadeler üzerinde durulmuştur. "Eskiden", "ilk yıllarda", "önceleri", "zamanla", "şimdi", "bugün" ve benzeri zamansal ifadeler, başa çıkma stratejilerindeki dönüşümün belirlenmesinde önemli göstergeler olarak değerlendirilmiştir. Örneğin K1, ilk yıllardaki kendini ispatlama çabasını günümüzde tekrarlamayacağını belirtirken; K6 ilk dönemlerde küçük sorunlar karşısında kaygılandığını, günümüzde ise daha sakin ve çözüm odaklı hareket ettiğini ifade etmiştir.

Analiz sonucunda ulaşılan temaların katılımcı ifadeleriyle desteklenmesine önem verilmiş ve bulguların sunumunda doğrudan alıntılardan yararlanılmıştır. Doğrudan alıntıların seçiminde temayı açık biçimde temsil eden, araştırmanın zaman içerisindeki değişim odağına katkı sağlayan ve benzer görüşleri özetleyebilen ifadeler tercih edilmiştir.

6.3. Geçerlilik ve güvenirlik

Araştırmanın tutarlılığını artırmak amacıyla veri analizi süreci sistematik bir biçimde yürütülmüştür. Katılımcıların yanıtları araştırmanın amacı doğrultusunda tekrar tekrar incelenmiş, benzer anlam taşıyan ifadeler kodlar altında toplanmış ve bu kodlardan hareketle kategori ve temalar oluşturulmuştur. Bulguların katılımcıların gerçek deneyimlerini yansıtmasını sağlamak amacıyla temalar doğrudan katılımcı ifadeleriyle desteklenmiş ve katılımcılar anonim biçimde kodlanarak görüşlerin izlenebilirliği korunmuştur. Ayrıca oluşturulan tema, kategori ve kodların araştırmanın amacı ve görüşme verileriyle uyumu analiz süreci boyunca yeniden gözden geçirilmiştir.

7. BULGULAR

Katılımcıların görüşme sorularına verdikleri yanıtlar içerik analiziyle incelenmiş ve bulgular; çalışma yaşamında karşılaşılan güçlükler, çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kullanılan başa çıkma biçimleri, deneyimle birlikte başa çıkma stratejilerinde meydana gelen değişim ve çalışma yaşamı deneyimlerinden çıkarılan başa çıkma ilkeleri olmak üzere dört ana tema altında toplanmıştır (Tablo 1). Bulgular, katılımcıların başa çıkma biçimlerinin sabit olmadığını; edinilen iş deneyimi, karşılaşılan kritik olaylar, çalışma arkadaşları ve yöneticilerle yaşanan ilişkiler ile aile sorumluluklarının etkisiyle zaman içerisinde yeniden şekillendiğini göstermektedir.

Tablo 1. Tema, kategori ve kodlar

Ana Tema	Kategori	Kodlar	İlgili Katılımcılar
1. Çalışma Yaşamında Karşılaşılan Güçlükler	İşe ve çalışma ortamına uyum	Tecrübesizlik, yeni ortama uyum, korku, kaygı, kültürel farklılık	K1, K3, K5, K6, K7
	Kendini kanıtlama baskısı	Kendini ispatlama, fazla çalışma, beklentileri karşılama, hata yapmaktan kaçınma	K1, K3, K6
	Kadın olmaya bağlı güçlükler	Kadına yönelik kalıp yargılar, kadın çalışan algısı, fiziki/zihinsel yeterlilik sorgusu	K1
	İş-aile sorumlulukları	Çocuk bakımı, izin ihtiyacı, ev sorumlulukları, iş-aile dengesi	K2, K3, K4, K7
	Yönetsel ve örgütsel sorunlar	Yönetici çatışması, mobbing, haksızlık, güç mücadelesi, yoğun iş yükü	K1, K3, K4
2. İlk Dönem Başa Çıkma Biçimleri	Kendini kanıtlama	Daha fazla çalışma, fedakârlık, görevleri sorgulamadan üstlenme	K1, K3
	Uyma ve kabullenme	Söyleneni yapma, koşullara uyum gösterme	K1, K6
	Sessizlik ve kaçınma	Görmezden gelme, duymama, olayların üzerini örtme	K3, K6
	Sosyal destek	Aile, arkadaş, çalışma arkadaşı ve deneyimli kişilerden destek alma	K3, K5, K6, K7
	İş dışı rahatlama	Aile ve arkadaşlarla zaman geçirme, yürüyüş, müzik, yüzme	K3
3. Deneyimle Birlikte Başa Çıkmanın Dönüşümü	Kaygıdan sakinliğe	Panik azalması, özgüven, soğukkanlılık	K1, K6, K7
	Tepkiden çözüm odaklılığa	Sorunu analiz etme, çözüm arama, mevzuattan yararlanma	K1, K5, K6
	Kendini kanıtlamadan sınır koymaya	Hayır deme, aşırı çalışmayı azaltma, kişisel sınır belirleme	K1, K3, K4
	Güvenden seçici güvene	İnsanlara mesafe koyma, kontrollü güven, ilişkisel sınırlar	K3, K4, K5
	Aşırı fedakârlıktan kendini korumaya	Kendini önceleme, iş yükünü sınırlandırma	K3, K4
	İş sorunlarından psikolojik uzaklaşma	İşi işte bırakma, sorunları eve taşımama, beklentiyi azaltma	K1, K2, K3, K5
	Plansızlıktan planlı davranışa	Planlama, zaman yönetimi, önceliklendirme	K4, K6, K7
	Sessizlik-konuşma arasında seçicilik	Hakkını savunma, itiraz, yüzleşme, bilinçli sessizlik	K2, K3, K5, K6
4. Deneyim Sonucunda Geliştirilen Başa Çıkma İlkeleri	Kendini ve sınırlarını koruma	Sınır çizme, hayır deme, gereğinden fazla taviz vermeme	K1, K3, K4
	Haklarını bilme	Özlük hakları, mevzuat bilgisi, gerektiğinde itiraz	K5
	Sosyal desteği bilinçli kullanma	Güvenilir kişilerden destek, karşılıklı dayanışma	K1, K3, K4, K5, K6, K7
	İş-özel yaşam ayrımı	İşi eve taşımama, kendine ve aileye öncelik verme	K1, K2, K3, K4
	Sakin ve planlı hareket etme	Soğukkanlılık, planlama, problemi büyütmeme	K5, K6, K7

Not. Tablo, görüşme formlarından elde edilen veriler doğrultusunda araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

7.1. Çalışma yaşamında karşılaşılan güçlükler

Katılımcıların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlüklerin tek bir sorun alanıyla sınırlı olmadığı görülmektedir. İşe yeni başlama ve çalışma ortamına uyum sağlama, kendini kanıtlama baskısı, yöneticilerle yaşanan sorunlar, iş yükü, kadın olmaya bağlı toplumsal

beklentiler ve aile sorumlulukları bu kapsamda öne çıkan başlıca güçlükleri oluşturmaktadır.
Çalışma yaşamının başlangıç dönemine ilişkin anlatılarda özellikle tecrübesizlik ve kendini kanıtlama gereksinimi dikkat çekmektedir. K1, yeni bir çalışan olmanın kendisinde sürekli bir yeterlilik gösterme baskısı oluşturduğunu ve başlangıçta bu baskıya karşı koymak yerine kendisinden beklenenleri yerine getirdiğini ifade etmektedir: "Kendimi, hem kendime hem arkadaşlarıma hem de üstlerime ispatlama ihtiyacı hissedip söyleneni yapardım" (K1.1). Benzer biçimde K3, işe başlamasına yardımcı olan kişileri mahcup etmemek amacıyla mesaiye erken gittiğini, geç çıktığını ve yoğun biçimde çalıştığını belirtmiştir. K6 ise çalışma yaşamının ilk dönemlerinde hata yapma ve yöneticisi tarafından eleştirilme kaygısının davranışlarını belirlediğini ifade etmektedir.
Kadın çalışanların deneyimlerinde öne çıkan ikinci güçlük alanı kadın olmaya ve aile sorumluluklarına bağlı taleplerdir. K1, kadın çalışanların bazı görevleri tek başlarına yerine getiremeyecekleri yönündeki kabullere dikkat çekerken, K2 ve K3 özellikle çocuk bakımının çalışma yaşamında önemli bir güçlük oluşturduğunu belirtmiştir. K2, çocuğunu bırakacak bir yer bulamadığı dönemlerde çocuğunu işe getirmek veya izin kullanmak zorunda kaldığını ifade ederken, K3 çocuklarının okul ve sağlık gereksinimleri nedeniyle sürekli izin ihtiyacı duyduğunu ve iş ile ev sorumluluklarının birleşmesinin kendisini yıprattığını belirtmiştir. K4 de benzer biçimde iş, ev ve çocuk sorumluluklarını aynı anda yürütmenin güçlüğüne vurgu yapmıştır.
Katılımcıların bazıları açısından çalışma yaşamındaki en güçlü deneyimler ise yöneticilerle ilişkiler, örgütsel adaletsizlikler ve güç mücadeleleri etrafında şekillenmiştir. K1, yöneticisiyle yaşadığı çatışmanın işten çıkarılmasına kadar ulaştığını ve hukuki süreç sonucunda işine geri döndüğünü belirtmiştir. K3 yöneticisiyle yaşadığı sorun sonrasında çalıştığı birimi değiştirdiğini, K4 ise yöneticisinin kendisinin de içerisinde bulunduğu bir gruba mobbing uyguladığını ifade etmiştir. Dolayısıyla katılımcıların karşılaştıkları güçlüklerin bireysel iş yükünden kişilerarası ilişkilere ve aile sorumluluklarına kadar uzanan çok boyutlu bir yapı taşıdığı görülmektedir.

7.2. Çalışma yaşamının ilk dönemlerindeki başa çıkma biçimleri

Katılımcıların çalışma yaşamının ilk dönemlerinde başvurdukları stratejiler arasında daha fazla çalışarak kendini kanıtlama, uyum gösterme, sessiz kalma veya görmezden gelme, sosyal destek arama ve iş dışı etkinliklerle rahatlamaya çalışma öne çıkmaktadır.
Özellikle işe yeni başlama dönemlerinde ortaya çıkan kendini kanıtlama stratejisi, bazı katılımcıların sorunlarla baş etmek için daha fazla çaba göstermelerine yol açmıştır. K1 kendisinden beklenen görevleri sorgulamadan yerine getirdiğini belirtirken, K3 iş çevresindeki beklentileri karşılamak amacıyla normalden daha fazla çalıştığını ifade etmektedir. Bu anlatılar, ilk dönem başa çıkma biçimlerinden birinin güçlük yaratan çalışma koşullarını değiştirmekten ziyade çalışanın kendisini bu koşullara uyarlaması biçiminde ortaya çıktığını göstermektedir.
Buna karşılık bazı katılımcılar görmezden gelme, sessiz kalma veya geri çekilme yoluna başvurmuştur. K3 çalışma yaşamının ilk dönemlerinde insanların davranışlarını "görmemek, duymamak" şeklinde bir başa çıkma yolu kullandığını belirtmiştir. K6 ise işin işleyişini aksatmadığı sürece sorunları büyütmemeyi, ortamın huzurunu korumayı ve bazı durumları sessizce kabullenmeyi tercih ettiğini ifade etmektedir.
Sosyal destek de katılımcıların anlatılarında önemli bir başa çıkma kaynağı olarak ortaya çıkmıştır. Aile üyeleri, yakın arkadaşlar, iş arkadaşları ve deneyimli çalışanlar başvurulan temel destek kaynaklarıdır. K3, aile ve arkadaş çevresinden aldığı desteğin sorunları değerlendirmesine yardımcı olduğunu; ayrıca çalışma arkadaşlarıyla özellikle ailevi sorumluluklar konusunda karşılıklı dayanışma geliştirdiklerini anlatmaktadır. K5 ve K6 ise

yaşadıkları güçlüğün niteliğine göre bilgi ve deneyimine güvendikleri kişilerden destek aldıklarını ifade etmektedir.

7.3. Deneyimle birlikte başa çıkma stratejilerinin dönüşümü

Araştırmanın en belirgin bulgularından biri, katılımcıların çalışma yaşamının başlangıcındaki başa çıkma biçimleriyle günümüzde kullandıkları yöntemlerin önemli ölçüde farklılaşabilmesidir. Bu dönüşüm; kaygıdan sakinliğe, kendini kanıtlamadan sınır koymaya, genel güvenden seçici güvene, aşırı çalışmadan iş-özel yaşam ayrımına ve plansız tepkilerden çözüm odaklı davranışlara geçiş biçimlerinde ortaya çıkmaktadır.

Katılımcıların bir bölümünde iş deneyiminin artmasıyla birlikte sorunların yarattığı kaygının azaldığı görülmektedir. K1, ilk yıllarda yaşanan sorunlarda "acaba benim yüzümden mi?" diye düşünürken bugün sorunları daha sakin analiz edebildiğini ve bir çözüm bulunabileceğini düşündüğünü belirtmektedir. K6'nın anlatısı da benzer bir dönüşümü göstermektedir. Başlangıçta küçük aksaklıkları dahi büyüttüğünü ve "yapabilir miyim?" kaygısı yaşadığını ifade eden katılımcı, günümüzde işleyişi tanımasının etkisiyle sorunlara daha sakin ve çözüm odaklı yaklaşmaktadır. K7 de geçmişte daha panik olduğunu, günümüzde ise olaylara farklı yaklaştığını ifade etmiştir. Bu bulgu, deneyimin sorunların ortadan kalkmasını sağlamasından çok, sorunların değerlendirilme biçimini değiştirdiğini düşündürmektedir. Çalışanlar zaman içerisinde aynı tür sorunları daha öngörülebilir ve yönetilebilir olarak değerlendirmeye başlamaktadır.

Verilerdeki en güçlü dönüşüm alanlarından biri kendini kanıtlama çabasının azalması ve kişisel sınırların belirginleşmesidir. K1, çalışma yaşamının ilk yıllarında sergilediği kendini ispatlama çabasını bugün tekrar etmeyeceğini açık biçimde ifade etmektedir. K4 ise zaman içerisinde "hayır" demeyi ve sınırlarını ihlal edebilecek durumlarda daha net davranmayı öğrendiğini belirtmektedir. K3'ün anlatısında bu dönüşüm daha belirgin biçimde görülmektedir. Katılımcı, geçmişte bazı olayların üzerini örttüğünü ancak günümüzde haksızlık karşısında duruma göre doğrudan konuşma, kişiden uzaklaşma veya yetkili bir kişiye başvurma seçeneklerini kullandığını ifade etmektedir. Bu nedenle deneyim sonucunda ortaya çıkan değişimin yalnızca daha fazla mücadele etmek biçiminde değil, hangi durumda müdahale edileceğini ve hangi durumda mesafe konulacağını seçebilme biçiminde geliştiği görülmektedir.

Bazı katılımcılar için yaşanan olumsuz deneyimler kişilerarası ilişkilerde daha ihtiyatlı davranmaya neden olmuştur. K3, yaşadığı yönetici çatışmasının ardından insanlara karşı bakış açısının değiştiğini ve kimseye kolay güvenmemesi gerektiğini öğrendiğini ifade etmektedir. K4 de haksız biçimde işten çıkarılan bir çalışma arkadaşının deneyiminden hareketle insanlara hemen değil, zaman içerisinde güvenmesi ve daha net sınırlar oluşturması gerektiğini öğrendiğini belirtmiştir. Dolayısıyla sosyal destek önemini korumakla birlikte deneyim arttıkça desteğin daha seçici kişilerden alınmaya başlandığı görülmektedir. K5'in "bilgi ve tecrübesine güvendiğim kişiler" ifadesi de bu seçiciliğe işaret etmektedir.

Deneyim sonucunda ortaya çıkan diğer bir değişim, katılımcıların iş yaşamındaki sorunların özel yaşam üzerindeki etkisini sınırlamaya çalışmalarıdır. K1, geçmişte yaşadığı işten çıkarılma sürecinin kendisini psikolojik olarak fazlasıyla etkilediğini, aynı durum bugün yaşansa tutumunu değiştirmeyeceğini ancak psikolojik olarak kendisini sürece "mahkûm etmeyeceğini" ifade etmektedir. Bu dönüşümü "Duruş aynı, psikoloji farklı olurdu" sözleriyle özetlemektedir. Benzer biçimde K2 iş yaşamındaki sorunları ailesine taşımamayı öğrendiğini, K3 ise "işi işte bırakmayı" çalışma yaşamına yeni başlayan bir kadına vereceği temel tavsiyelerden biri olarak ifade etmektedir. K5 de çalışma yaşamındaki bazı sorunları zaman içerisinde daha olağan karşılamaya ve günlük yaşamını etkilemesine izin vermemeye başladığını belirtmektedir.

Görüşmelerde dikkat çeken önemli bir bulgu, deneyimin bütün katılımcıları aynı başa çıkma

biçimine yöneltmemesidir. Bazı katılımcılar deneyim kazandıkça daha fazla konuşma ve hakkını savunma eğilimi gösterirken bazıları daha seçici biçimde sessiz kalmayı tercih etmektedir.

Örneğin K3 geçmişte olayların üzerini örterken günümüzde haksızlıklar karşısında daha açık biçimde tepki verdiğini ifade etmektedir. Buna karşılık K2, çalışma yaşamının başlangıcında daha fazla araştırıp insanları bilgilendirmeye çalışırken günümüzde "denilenin dışına çıkmayarak sessiz kalıyorum. Sessiz kalmak istiyorum" şeklinde farklı bir dönüşüm yaşamıştır. K6 da bazı sorunları bilinçli biçimde sessizce kabullenmeyi tercih etmektedir.

Bu farklılık, çalışma yaşamı deneyiminin her zaman daha aktif veya daha mücadeleci bir başa çıkmaya yol açmadığını göstermektedir. Deneyim bazı çalışanlar açısından sesini daha güçlü biçimde ifade etmeyi, bazı çalışanlar açısından ise enerjisini hangi sorunlara harcayacağını seçmeyi beraberinde getirmektedir.

7.4. Deneyim sonucunda geliştirilen başa çıkma ilkeleri

Katılımcıların çalışma yaşamlarına yeni başlayacak kadınlara verdikleri tavsiyeler, yıllar içerisinde edindikleri deneyimlerin bir tür öğrenilmiş başa çıkma repertuvarına dönüştüğünü göstermektedir. Bu kapsamda öne çıkan ilkeler; kendini öncelemek, sınır koymak, gereğinden fazla fedakârlık yapmamak, haklarını bilmek, planlı hareket etmek, güvenilecek kişileri seçmek, sosyal destek almak ve iş sorunlarını özel yaşama taşımamak şeklinde sıralanabilir.

K3'ün "Öncelik sen olmalısın… gereğinden fazla taviz verme… kendi sınırlarını çiz… işi işte bırak, sorunları evine taşıma" ifadeleri bu öğrenilmiş ilkelerin önemli bölümünü birlikte içermektedir. K4 de yeni başlayan bir kadına hemen güvenmemesini, iş ve özel yaşam arasında denge kurmasını ve sınırlarını korumasını önermektedir.

K5'in anlatısında ise deneyim sonucunda geliştirilen başa çıkma biçiminin merkezinde bilgi ve hak farkındalığı bulunmaktadır. Katılımcı, özlük haklarını ve mevzuatı bilmenin ne zaman kabul edeceğini veya itiraz edeceğini belirlediğini ifade etmekte ve çalışma yaşamına yeni başlayan kadınlara da haklarını ve mevzuatı öğrenmelerini önermektedir.

K6 ve K7'nin anlatılarında ise planlılık, sakinlik ve deneyimli kişilerden öğrenme öne çıkmaktadır. K6, geçmişte plansız hareket ederek gereksiz stres yaşadığını, zaman içerisinde planlı ve pratik davranmayı öğrendiğini belirtirken; çalışma yaşamına yeni başlayanlara hata yapma korkusuna kapılmamalarını, soru sormalarını ve deneyimli kişilerden öğrenmelerini önermektedir. K7 ise programlı hareket etmenin ve aile ile iş sorumluluklarını birlikte yönetebilmek için bir strateji geliştirmenin önemini vurgulamaktadır.

7.5. Başa çıkma stratejilerindeki temel dönüşüm

İçerik analizinin ortaya koyduğu dönüşüm, çalışma yaşamının ilk yılları ile ilerleyen dönemleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Tablo 2. Başa çıkma stratejilerindeki temel dönüşüm

Çalışma Yaşamının İlk Dönemleri	Deneyim Sonrasında
Kendini kanıtlama	Kişisel sınırları koruma
Fazla çalışma ve fedakârlık	İş yükünü sınırlandırma
Hata yapma korkusu	Hatanın öğrenmenin parçası olduğunu kabul etme
Kaygı ve panik	Sakinlik ve soğukkanlılık
Sorunu kişiselleştirme	Sorunu analiz etme
Herkese güvenme	Seçici güven
Görmezden gelme	Duruma göre konuşma veya bilinçli olarak uzaklaşma
Plansız çaba	Planlı ve çözüm odaklı hareket etme
İş sorunlarını özel yaşama taşıma	İşi işte bırakma

Çevrenin beklentilerine öncelik verme	Kendine ve aileye öncelik verme

Not. Tablo, görüşme formlarından elde edilen veriler doğrultusunda araştırmacı tarafından oluşturulmuştur.

Bu karşılaştırma, katılımcıların başa çıkma repertuvarlarının çalışma deneyimiyle birlikte genişlediğini ancak değişimin bütün katılımcılarda aynı yönde gerçekleşmediğini göstermektedir. Özellikle sessizlik ve konuşma davranışları bu farklılaşmanın en belirgin örneğini oluşturmaktadır. K3 başlangıçta bazı sorunların üzerini örterken günümüzde haksızlık karşısında daha fazla tepki verdiğini belirtmiştir. Buna karşılık K2'nin başlangıçta daha araştırmacı ve aktif bir tutum sergilerken günümüzde "sessiz kalmak istediğini" ifade etmesi, deneyimin her zaman daha aktif mücadele biçimlerine yol açmadığını göstermektedir.

Görüşme bulguları bir bütün olarak değerlendirildiğinde kadın çalışanların başa çıkma biçimlerinin çalışma yaşamı boyunca doğrusal ve tek yönlü bir değişim göstermediği anlaşılmaktadır. Deneyim bazı katılımcılarda daha fazla konuşma ve hakkını savunmayı beraberinde getirirken bazı katılımcılarda sessiz kalmayı, geri çekilmeyi veya sorunun önemini azaltmayı tercih etme biçiminde ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde sosyal destek önemini korumakla birlikte, deneyim arttıkça kime güvenileceği ve kimden destek alınacağı konusunda daha seçici davranıldığı görülmektedir.

Katılımcıların ortaklaştıkları temel değişim ise sorunların tamamen ortadan kalkmasından ziyade, sorunlara yüklenen anlamın ve verilen tepkinin değişmesidir. Çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kaygı, kendini kanıtlama, fazla çalışma ve çevrenin beklentilerine uyma daha belirgin iken; ilerleyen dönemlerde sakinlik, çözüm odaklılık, sınır koyma, haklarını bilme, seçici sosyal destek, iş-özel yaşam ayrımı ve psikolojik mesafe daha fazla öne çıkmaktadır. Bu açıdan başa çıkma, görüşme verilerinde sabit bir davranış biçiminden çok, karşılaşılan deneyimlerin değerlendirilmesi ve bu deneyimlerden öğrenilenlerin sonraki olaylara aktarılmasıyla şekillenen dinamik bir süreç görünümü sergilemektedir.

8. TARTIŞMA

Bu araştırmanın bulguları, kadın çalışanların başa çıkma stratejilerinin çalışma yaşamı boyunca sabit kalmadığını, edinilen deneyimlerle birlikte yeniden şekillendiğini göstermektedir. Çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kendini kanıtlama, fazla çalışma, kaygı ve mevcut koşullara uyum sağlama daha belirgin iken, deneyim arttıkça sakinlik, çözüm odaklılık, kişisel sınır oluşturma ve daha seçici davranma ön plana çıkmaktadır. Bu bulgu, başa çıkmayı değişmez bir bireysel özellikten ziyade birey ile çevre arasındaki etkileşime ve stresli durumun değerlendirilme biçimine bağlı dinamik bir süreç olarak ele alan çalışmalarla uyumludur (Cheng vd., 2012; Cheng vd., 2014; Dewe vd., 1993). Dolayısıyla çalışma yaşamında edinilen deneyimin yalnızca yeni başa çıkma davranışlarının öğrenilmesini değil, mevcut stratejilerin yeniden değerlendirilmesini de beraberinde getirdiği söylenebilir.

Araştırmada öne çıkan güçlüklerden biri iş ve aile sorumluluklarının birlikte yürütülmesidir. Özellikle çocuk bakımı, izin ihtiyacı ve ev içi sorumlulukların çalışma yaşamındaki taleplerle bir araya gelmesi katılımcıların deneyimlerinde önemli bir sorun alanı oluşturmuştur. Bu sonuç, kadınların çalışma yaşamındaki güçlüklerinin iş ve aile yükümlülüklerinin etkileşimiyle daha karmaşık hale gelebildiğini gösteren önceki çalışmalarla örtüşmektedir (Akanji vd., 2020; Michailidis vd., 2012; Valk ve Srinivasan, 2011). Bu doğrultuda kadın çalışanların başa çıkma deneyimlerinin yalnızca örgüt içinde karşılaşılan sorunlar üzerinden değil, iş ve özel yaşam alanlarının karşılıklı etkisi içerisinde değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Araştırmanın temel bulgularından biri, deneyim arttıkça başa çıkma biçimlerinde niteliksel bir dönüşüm yaşanmasıdır. Katılımcılar yalnızca daha fazla strateji geliştirmemekte, aynı zamanda farklı durumlarda hangi tepkinin daha uygun olabileceği konusunda daha seçici

davranmaktadır. Bu sonuç, başa çıkma esnekliği yaklaşımıyla uyumludur. Cheng vd. (2012), etkili başa çıkmanın farklı durumların gerekliliklerini ayırt etmeyi ve uygun stratejiler arasında geçiş yapabilmeyi içerdiğini belirtmektedir. Mevcut araştırmada da deneyim arttıkça tek bir başa çıkma biçimine bağlı kalmak yerine sorunun niteliğine göre konuşma, geri çekilme, destek arama, sınır koyma veya soruna doğrudan müdahale etme gibi farklı seçeneklerin değerlendirildiği görülmektedir. Bu durum, çalışma yaşamı deneyiminin başa çıkma repertuvarını yalnızca genişletmediğini, aynı zamanda stratejilerin daha seçici kullanılmasını sağladığını düşündürmektedir.

Bulgular aynı zamanda başa çıkma stratejilerindeki değişimin daha aktif veya daha mücadeleci davranmaya doğru tek yönlü bir gelişim olarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir. Bazı katılımcılar deneyimle birlikte daha fazla konuşma ve hakkını savunma eğilimi geliştirirken, bazı katılımcılar belirli durumlarda sessiz kalmayı veya geri çekilmeyi tercih etmektedir. Bu farklılaşma, deneyimin herkesi aynı başa çıkma biçimine yöneltmediğini; hangi sorunlara müdahale edileceği ve hangi durumlarda psikolojik mesafe oluşturulacağı konusunda daha seçici kararlar verilmesine katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bu açıdan araştırmanın önemli sonuçlarından biri, başa çıkmadaki dönüşümün kullanılan stratejinin aktif veya pasif olmasından çok, stratejinin duruma göre seçilmesiyle ilişkili olmasıdır.

Deneyimle birlikte ortaya çıkan diğer önemli bir dönüşüm, kendini kanıtlama ve fazla çalışma eğiliminden kişisel sınırların korunmasına doğru gerçekleşmektedir. Çalışma yaşamının ilk dönemlerinde çevrenin beklentilerini karşılama ve yeterliliğini gösterme çabası daha belirgin iken, ilerleyen dönemlerde sınır koyma, gerektiğinde hayır deme ve aşırı iş yükünden kaçınma davranışları öne çıkmaktadır. Benzer biçimde sosyal destek önemini korumakla birlikte destek alınacak kişilerin seçiminde daha ihtiyatlı ve seçici davranıldığı görülmektedir. Bu sonuçlar, deneyimin başa çıkmayı yalnızca karşılaşılan sorunu çözmeye yönelik bir süreç olmaktan çıkararak kişinin kendi kaynaklarını, ilişkilerini ve psikolojik sınırlarını korumaya yönelik bir yapıya da dönüştürebildiğini göstermektedir.

Bulgularda dikkat çeken bir diğer değişim, iş yaşamındaki sorunların özel yaşam üzerindeki etkisinin sınırlandırılmaya çalışılmasıdır. Katılımcılar deneyim arttıkça iş sorunlarını özel yaşamlarına daha az taşımaya ve olayların psikolojik etkisini sınırlandırmaya yönelik bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu bulgular, iş yaşamındaki deneyimlerin çalışanların kullandıkları stratejileri yeniden değerlendirmelerine ve problem çözme, duyguları yönetme ve destek ağlarından yararlanma konusunda yeni yollar öğrenmelerine imkân sağladığını belirten Smollan'ın (2017) bulgularıyla uyumludur. Bu çerçevede araştırma, kadın çalışanlarda başa çıkmanın yalnızca kullanılan stratejilerin değişmesiyle değil, sorunlara yüklenen anlamın, kişisel sınırların ve psikolojik yatırımın yeniden düzenlenmesiyle şekillenen bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

9. SONUÇ

Bu araştırmada kadın çalışanların çalışma yaşamında karşılaştıkları güçlükler ile bu güçlüklerle başa çıkma biçimlerinin zaman içerisindeki değişimi incelenmiştir. Bulgular, kadın çalışanların karşılaştıkları sorunların işe uyum, tecrübesizlik, kendini kanıtlama baskısı, yöneticilerle ilişkiler, örgütsel haksızlıklar, iş yükü, çocuk bakımı ve iş-aile sorumlulukları gibi farklı alanlarda ortaya çıktığını göstermiştir.

Araştırmanın temel sonucu, başa çıkma stratejilerinin çalışma yaşamı boyunca aynı biçimde devam etmediğidir. Çalışma yaşamının ilk dönemlerinde kaygı, kendini kanıtlama ihtiyacı, aşırı çalışma, fedakârlık, çevrenin beklentilerine uyma ve bazı sorunları görmezden gelme daha fazla ön plana çıkarken; deneyim arttıkça sakinlik, çözüm odaklılık, planlama, kişisel sınır oluşturma, seçici güven, hakları bilme ve iş ile özel yaşam arasında psikolojik mesafe oluşturma daha

görünür hale gelmiştir.
Bununla birlikte değişim bütün katılımcılarda aynı yönde gerçekleşmemiştir. Bazı kadınlar deneyimi arttıkça daha fazla konuşmayı, itiraz etmeyi ve haklarını savunmayı öğrenirken bazıları belirli sorunlar karşısında sessiz kalmanın veya geri çekilmenin kendileri açısından daha işlevsel olduğuna karar vermiştir. Bu nedenle çalışma yaşamı deneyiminin başa çıkmayı yalnızca "daha aktif" hale getirdiğini söylemek yerine, çalışanların hangi durumda hangi stratejinin kullanılacağı konusunda daha seçici hale gelmelerini sağladığı sonucuna ulaşmak daha uygun görünmektedir.
Araştırmanın dikkat çeken diğer sonucu, deneyimle birlikte "kendini kanıtlama" merkezli başa çıkmadan "kendini koruma" merkezli başa çıkmaya doğru bir dönüşüm görülmesidir. Kariyerin ilk dönemlerinde çevrenin beklentilerini karşılamak, fazla çalışmak ve yeterliliğini kanıtlamak önemliyken ilerleyen dönemlerde kişinin kendi sınırlarını belirlemesi, gerektiğinde hayır demesi, iş yükünü sınırlandırması ve özel yaşamını koruması daha fazla önem kazanmaktadır.
Benzer biçimde sosyal destek de süreç boyunca önemini korumakta; ancak deneyim sonucunda daha seçici hale gelmektedir. Katılımcılar aileleri, yakın arkadaşları, kadın çalışma arkadaşları ve deneyimli kişilerden destek alırken zamanla herkese aynı düzeyde güvenmek yerine güvenilir ve çözüm odaklı kişilerden destek alma eğilimine yönelmektedir.
Sonuç olarak araştırmanın bulguları, kadın çalışanların başa çıkma deneyimlerinin yalnızca belirli stratejilerin kullanılması üzerinden açıklanamayacağını göstermektedir. Başa çıkma, çalışma yaşamı boyunca karşılaşılan olayların, bu olaylardan çıkarılan derslerin ve sonraki sorunlara verilen tepkilerin birbirini şekillendirdiği deneyim ve öğrenme temelli dinamik bir süreç görünümündedir. Bu yönüyle çalışma, kadın çalışanların başa çıkmasını kullanılan stratejilerin statik bir listesi biçiminde değil, çalışma yaşamı içerisinde sürekli yeniden şekillenen bir dönüşüm süreci olarak ele almaktadır.

9.1. Araştırmanın uygulamaya yönelik çıkarımları

Katılımcı ifadeleri kadın çalışanların yaşadıkları sorunların yalnızca bireysel başa çıkma becerileriyle çözülebilecek nitelikte olmadığını da göstermektedir. Özellikle çocuk bakımına bağlı izin ihtiyaçları, çalışma saatleri, iş-aile sorumluluklarının birlikte yürütülmesi, yöneticilerin tutumları ve örgütsel adalet konuları katılımcıların kurumsal düzenlemelere yönelik beklentilerinde öne çıkmıştır. K1, K2, K3, K4 ve K5 yöneticilerin kadın çalışanların aile sorumluluklarını dikkate alması ve daha esnek uygulamalar geliştirmesi gerektiğini belirtmiştir.
Bu doğrultuda kadın çalışanların iş ve aile sorumluluklarını birlikte yürütebilmelerini kolaylaştıracak esnek uygulamalar, çocuk bakımını destekleyen kurumsal düzenlemeler, adil iş dağılımı ve çalışanların yöneticilerle güvenli iletişim kurabilecekleri çalışma ortamları önem taşımaktadır. Bunun yanında çalışma yaşamına yeni başlayan kadınlara yönelik oryantasyon, deneyimli çalışanlardan destek alma olanakları ve çalışanların özlük hakları konusunda bilgilendirilmesi, görüşmelerde ortaya çıkan kaygı ve belirsizliğin azaltılmasına katkıda bulunabilir.

9.2. Araştırmanın sınırlılıkları ve gelecek çalışmalar için öneriler

Araştırmanın bulguları yedi kadın çalışanın kendi çalışma yaşamlarına ilişkin geriye dönük değerlendirmelerine dayanmaktadır. Bu nedenle sonuçların amacı istatistiksel bir genelleme yapmak değil, katılımcıların deneyimlerinde ortaya çıkan ortak ve farklı örüntüleri anlamaktır. Ayrıca geçmişte kullanılan başa çıkma biçimlerinin katılımcıların bugünkü değerlendirmeleri üzerinden aktarılması, geçmiş deneyimlerin zaman içerisinde yeniden yorumlanmış olabileceği dikkate alınarak değerlendirilmelidir.
Gelecek çalışmalarda farklı sektörlerde, mesleklerde ve kariyer aşamalarında bulunan daha

geniş kadın çalışan gruplarının başa çıkma dönüşümleri karşılaştırılabilir. Özellikle kariyerin başlangıç, orta ve ileri dönemlerinde bulunan çalışanlardan eş zamanlı olarak veri toplanması, başa çıkma biçimlerindeki farklılıkların daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlayabilir. Bunun yanında mevcut araştırmada dikkat çeken kendini kanıtlamadan kendini korumaya geçiş, seçici sessizlik, sınır koyma, seçici güven ve işi işte bırakma gibi örüntüler gelecekte yapılacak çalışmalarda ayrı temalar olarak daha derinlemesine ele alınabilir.

KAYNAKÇA

Akanji, B., Mordi, C., & Ajonbadi, H. A. (2020). The experiences of work-life balance, stress, and coping lifestyles of female professionals: Insights from a developing country. *Employee Relations, 42*(4), 999–1015. doi:10.1108/ER-01-2019-0089

Beşpınar, F. U. (2010). Questioning agency and empowerment: Women's work-related strategies and social class in urban Turkey. *Women's Studies International Forum, 33*(6), 523–532. doi:10.1016/j.wsif.2010.09.003

Cheng, C., Kogan, A., & Chio, J. H. M. (2012). The effectiveness of a new, coping flexibility intervention as compared with a cognitive-behavioural intervention in managing work stress. *Work & Stress, 26*(3), 272–288. doi:10.1080/02678373.2012.710369

Cheng, C., Lau, H. P. B., & Chan, M. P. S. (2014). Coping flexibility and psychological adjustment to stressful life changes: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin, 140*(6), 1582–1607. doi:10.1037/a0037913

Coşkun, Ö. F. (2021). Kadınların kariyer yolculuklarındaki engellere metaforik bir bakış. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 11*(4), 2048–2062. doi:10.30783/nevsosbilen.988872

Coşkun, Ö. F. (2022). Çalışan bekâr annelerin örgütsel yaşamda karşılaştıkları sorunlar üzerine nitel bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 52*, 293–311. doi:10.30794/pausbed.1100139

Deloitte. (2022). *Women at Work 2022: A global outlook*. https://www.deloitte.com/bd/en/issues/work/women-at-work-global-outlook-2022.html

Deloitte. (2025). *Women at Work 2025: A global outlook*. https://www.deloitte.com/global/en/issues/work/content/women-at-work-global-outlook.html.

Dewe, P., Cox, T., & Ferguson, E. (1993). Individual strategies for coping with stress at work: A review. *Work & Stress, 7*(1), 5–15. doi:10.1080/02678379308257046

Heilman, M. E., Caleo, S., & Manzi, F. (2024). Women at work: Pathways from gender stereotypes to gender bias and discrimination. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 11*, 165–192. doi:10.1146/annurev-orgpsych-110721-034105

Hulin, S., Bolliger, L., Lukan, J., Caluwaerts, A., De Neve, R., Luštrek, M., De Bacquer, D., & Clays, E. (2024). How does day-to-day stress appraisal relate to coping among office workers in academia? An ecological momentary assessment study. *Stress and Health, 40*(3), e3315. doi:10.1002/smi.3315

Khattar, V., Agarwal, U. A., Sumpter, D. M., & Zanhour, M. (2026). Spirituality, support, and agency: An investigation of how Indian women cope with career shocks. *European Management Journal*. Advance online publication. doi:10.1016/j.emj.2026.03.001

Koseoglu Ornek, O., & Esin, M. N. (2020). Effects of a work-related stress model based mental health promotion program on job stress, stress reactions and coping profiles of women workers: A control groups study. *BMC Public Health, 20*, 1658. doi:10.1186/s12889-020-09769-0

Kurth, M. L., Witzel, D. D., Cerino, E. S., & Almeida, D. M. (2025). Longitudinal changes in coping strategies across midlife and older adulthood: Findings from the Midlife in the United States study. *Aging & Mental Health, 29*(3), 423–434. doi:10.1080/13607863.2024.2396066

Lyness, K. S., & Heilman, M. E. (2006). When fit is fundamental: Performance evaluations and promotions of upper-level female and male managers. *Journal of Applied Psychology, 91*(4), 777–785. doi:10.1037/0021-9010.91.4.777

Martin-Joy, J. S., Malone, J. C., Cui, X.-J., Johansen, P.-Ø., Hill, K. P., Rahman, M. O., Waldinger, R. J., & Vaillant, G. E. (2017). Development of adaptive coping from mid to late life: A 70-year longitudinal study of defense maturity and its psychosocial correlates. *The Journal of Nervous and Mental Disease, 205*(9), 685–691. doi:10.1097/NMD.0000000000000711

Michailidis, M. P., Morphitou, R. N., & Theophylatou, I. (2012). Women at work equality versus inequality: Barriers for advancing in the workplace. *The International Journal of Human Resource Management, 23*(20), 4231–4245. doi:10.1080/09585192.2012.665071

Mousa, M. (2024). Career shock of female academics during Covid-19: Can the transactional stress model offer coping strategies? *European Journal of Training and Development, 48*(1–2), 196–213. doi:10.1108/EJTD-04-2022-0052

Murray, P. A., & Ali, F. (2017). Agency and coping strategies for ethnic and gendered minorities at work. *The International Journal of Human Resource Management, 28*(8), 1236–1260. doi:10.1080/09585192.2016.1166787

Ozcan, O., Hoelterhoff, M., & Wylie, E. (2021). Faith and spirituality as psychological coping mechanism among female aid workers: A qualitative study. *Journal of International Humanitarian Action, 6*, Article 15. doi:10.1186/s41018-021-00100-z

Paustian-Underdahl, S. C., Smith Sockbeson, C. E., Hall, A. V., & Halliday, C. S. (2024). Gender and evaluations of leadership behaviors: A meta-analytic review of 50 years of research. *The Leadership Quarterly, 35*(6), 101822. doi:10.1016/j.leaqua.2024.101822

Saeed, A., Kehkishan, S., & Sameer, M. (2022). Divorce status in the Pakistani workplace: Women's narratives on stigma, outcomes and coping strategies. *Equality, Diversity and Inclusion: An International Journal, 41*(6), 927–950. doi:10.1108/EDI-05-2021-0129

Shimazu, A., & Schaufeli, W. B. (2007). Does distraction facilitate problem-focused coping with job stress? A 1 year longitudinal study. *Journal of Behavioral Medicine, 30*(5), 423–434. doi:10.1007/s10865-007-9109-4

Smollan, R. K. (2017). Learning to cope with stressful organisational change. *International Journal of Work Organisation and Emotion, 8*(2), 148–167. doi:10.1504/IJWOE.2017.086461

Son Hing, L. S., Sakr, N., Sorenson, J. B., Stamarski, C. S., Caniera, K., & Colaco, C. (2023). Gender inequities in the workplace: A holistic review of organizational processes and practices. *Human Resource Management Review, 33*(3), 100968. doi:10.1016/j.hrmr.2023.100968

Valk, R., & Srinivasan, V. (2011). Work–family balance of Indian women software professionals: A qualitative study. *IIMB Management Review, 23*(1), 39–50. doi:10.1016/j.iimb.2010.10.010

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KORELASYON TEMELLİ ÖZELLİK ELEMENİN MAKİNE ÖĞRENMESİ SINIFLANDIRICILARININ PERFORMANSINA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Burcu DURMUŞ
Tekirdağ Namık Kemal University, Rectorate, 59000 Süleymanpaşa, Tekirdağ
ORCID ID: 0000-0002-0298-0802

ÖZET
Bu çalışmada özellikler arasındaki yüksek korelasyona dayalı elemenin sınıflandırma başarısı ve eğitim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma Kaggle platformunda yer alan Iris, Seeds, Raisin, Sonar ve Voice Gender veri setleri üzerinden yürütülmüştür. Veri setlerinde eksik değer bulunmamaktadır. Sınıf dağılımları dengeli veya dengeye yakındır. Lojistik regresyon, destek vektör makinesi, k-en yakın komşu ve rastgele orman modelleri test edilmiştir. Tüm özelliklerle elde edilen sonuçlar, 0,70, 0,80, 0,90 ve 0,95 korelasyon eşiklerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Eleme, yalnızca eğitim verisinde hesaplanan Pearson korelasyonlarına göre yapılmıştır. Modeller üç kez tekrarlanan beş katlı çapraz doğrulamayla değerlendirilmiştir. Başarı ölçütü olarak makro F1 kullanılmıştır. 0,80 eşiğinde Iris'te dört modelin de başarısı düşmüştür. Sonar'da lojistik regresyon ve k-en yakın komşunun başarısı artmış, rastgele ormanın başarısı düşmüştür. Voice'ta özellik sayısı 20'den 12'ye inmiş ve başarı büyük ölçüde korunmuştur. Holm düzeltmesinden sonra yalnızca destek vektör makinesinde koşullar arasında anlamlı fark bulunmuştur (düzeltilmiş $p = 0,0085$). Bulgular, eşik seçiminde veri setinin ve modelin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Çapraz doğrulama, korelasyon, özellik seçimi, sınıflandırma

A COMPARATIVE STUDY ON THE EFFECT OF CORRELATION-BASED FEATURE SELECTION ON THE PERFORMANCE OF MACHINE LEARNING CLASSIFIERS

ABSTRACT
This study examines the impact of feature elimination-based on high correlations between features-on classification performance and training time. The research was conducted using the Iris, Seeds, Raisin, Sonar, and Voice Gender datasets from the Kaggle platform. These datasets contain no missing values, and their class distributions are either balanced or nearly balanced. Logistic regression, support vector machines, k-nearest neighbors, and random forest models were tested. Results obtained using the full set of features were compared with those obtained using correlation thresholds of 0.70, 0.80, 0.90, and 0.95. Feature elimination was performed based on Pearson correlations calculated exclusively from the training data. The models were evaluated using five-fold cross-validation, repeated three times. The macro-F1 score was used as the performance metric. At the 0.80 threshold, the performance of all four models decreased for the Iris dataset. For the Sonar dataset, the performance of logistic regression and k-nearest neighbors improved, while that of the random forest declined. In the Voice dataset, the number of features was reduced from 20 to 12, with performance largely maintained. Following the Holm correction, a significant difference between conditions was found only for the support vector machine (adjusted $p = 0.0085$). The findings indicate that both the dataset and the model should be considered together when selecting a threshold.
Keywords: Cross-validation, correlation, feature selection, classification

1. GİRİŞ

Makine öğrenmesi modelleri, gözlemlerin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için veri setindeki özellikleri kullanır. Bazen özellikler arasında yüksek korelasyon bulunabilir. Örneğin, bir arsanın alanı ile çevresi, bir ses kaydının ortalama frekansı ile frekans merkezi veya kilo ile vücut kitle indeksi değerleri birbiriyle ilişkili olabilir. Bu özelliklerin benzer bilgiler taşıdığı durumlarda daha az özellikle benzer bir sınıflandırma başarısı elde edilebilir. Yeni başarı, modelden çıkarılan özelliğin sınıfları ayırmada ne kadar etkili olduğuna bağlıdır. Bu kapsamda mevcut çalışmada özellik seçimi yapılmıştır. Özellik seçimi, veri setindeki özelliklerden bir kısmının kullanılmasıdır. Özellik seçimi, tahmin başarısını iyileştirmenin yanı sıra hesaplama maliyetini azaltmak ve modelin kullandığı girdileri daha anlaşılır hâle getirmek amacıyla kullanılmaktadır (Guyon ve Elisseeff, 2003).

Korelasyona dayalı özellik seçimi yöntemleri, benzer bilgiler taşıyan değişkenleri belirlemeye yardımcı olur. Hall'ın yönteminde hem özelliklerin sınıfla olan ilişkisi hem de birbirleriyle olan ilişkileri dikkate alınır (Hall, 1999). Karşılıklı bilgiye dayalı yöntemlerde ise bir özelliğin sınıfı belirlemek için ne kadar bilgiye sahip olduğu ve bu bilginin diğer özelliklerde ne kadar tekrarlandığı incelenir (Peng vd., 2005). Bu çalışmada ise karar, özellikler arasındaki Pearson korelasyonunun mutlak değerine göre verilmiştir.

Yüksek korelasyon, model katsayılarının yorumunu ve tahmin başarısını farklı yönlerden etkileyebilir. Birbiriyle güçlü ilişkisi olan değişkenler, doğrusal modellerde katsayıların kararsızlaşmasına yol açabilir. Ancak katsayılar kararsızlaşsa bile modelin tahmin başarısı korunabilir. Çoklu bağlantının sonuçları veri setine ve kullanılan modele göre değişebilir (Dormann vd., 2013). Bu nedenle yüksek korelasyon varlığı, bir özelliği modelden çıkarmak için yeterli gerekçe oluşturmayabilir.

Sınıflandırma algoritmaları özellikleri farklı biçimlerde kullanır. Lojistik regresyon doğrusal bir karar sınırı oluşturur. Destek vektör makinesinde sınıfların nasıl ayrıldığı kullanılan çekirdeğe göre değişir. k-en yakın komşu yönteminde sınıflar gözlemler arasındaki uzaklıklara, rastgele ormanda ise karar ağaçlarındaki bölünmelere göre ayrılır (Cover ve Hart, 1967; Cortes ve Vapnik, 1995; Breiman, 2001). Bir özelliğin çıkarılması, k-en yakın komşu yönteminde gözlemler arasındaki uzaklıkları, rastgele ormanda ise ağaçların kullandığı bölünmeleri değiştirebilir. Aynı korelasyon eşiği bir modelin başarısını artırırken başka bir modelin başarısını düşürebilir.

Bu çalışmanın amacı, korelasyona dayalı özellik elemenin farklı veri setleri ve sınıflandırıcılar üzerindeki etkisini incelemektir. Bu doğrultuda farklı eşiklerde hangi özelliğin korunduğu, doğruluk ile makro F1'in aynı yönde değişip değişmediği ve eğitim süresinin kısalıp kısalmadığı araştırılmıştır. Sonuçlar, uygulanan eleme kuralı ve incelenen veri setleri kapsamında değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL AND METHOD

2.1. Veri setleri

Kaggle'da açık olarak yayımlanan beş sayısal sınıflandırma veri seti kullanılmıştır (Becker, 2016; UCI Iris, 2016; rwzhang, 2018; Köklü, 2022; rupakroy, 2022). Dahil edilme ölçütleri, hedef etiketlerinin mevcut olması, girdi ve hedefte eksik değer bulunmaması, girdilerin sayısal olması ve en büyük sınıfın en küçük sınıfa oranının 1,20'yi aşmaması olarak belirlenmiştir. Bu son sınır ($\leq 1{,}20$) çalışmanın operasyonel seçim ölçütüdür. Tablo 1, veri setlerine ilişkin temel bilgileri sunmaktadır. Iris'te 3, Voice'ta 2 yinelenen girdi çıkarılmıştır. Diğer veri setlerinde kayıt çıkarılmamıştır.

Tablo 1. Veri setlerinin temel özellikleri

Veri	Ham (n)	Analiz (n)	Özellik (p)	Sınıf sayıları	Oran (en büyük sınıf sayısı / en küçük sınıf sayısı)
Iris	150	147	4	setosa 48 versicolor 50 virginica 49	1,04
Seeds	210	210	7	kama 70 rosa 70 canadian 70	1,00
Raisin	900	900	7	besni 450 keçimen 450	1,00
Sonar	208	208	60	M 111 R 97	1,14
Voice	3168	3166	20	female 1583 male 1583	1,00

Iris, üç çiçek türüne ait çanak ve taç yapraklarının uzunluk ve genişlik ölçülerini içerir. Kaggle dosyasındaki Id sütunu model girdisi olarak kullanılmamıştır. Seeds, üç buğday çeşidinin alan, çevre, kompaktlık, tane uzunluğu ve genişliği, asimetri ve oluk uzunluğu ölçülerinden oluşur. Seeds etiketleri 1, 2 ve 3 olarak korunmuş; bunlar sırasıyla Kama, Rosa ve Canadian çeşitlerini temsil etmiştir. Raisin, Besni ve Keçimen kuru üzüm tanelerinden çıkarılmış yedi morfolojik özellik içerir. Sonar, metal silindir ve kaya yüzeylerinden dönen sinyallerin 60 bant enerjisini içerir. M ve R etiketleri özgün biçimiyle kullanılmıştır. Voice Gender, ses kayıtlarının frekans ve spektral özelliklerini içeren 20 sayısal girdiden oluşur. Voice hedefi, kaynaktaki female ve male etiketlerinin tahminidir. Bu etiketlerden daha geniş bir kimlik veya kişisel özellik çıkarımı yapılmamıştır.

Beş dosyada eksik değer, sabit sütun veya çelişkili etiket saptanmamıştır. Tamamen aynı girdi değerlerine sahip kayıtlar doğrulama öncesinde tekilleştirilmiştir. Bu işlem, aynı girdinin eğitim ve testte birlikte bulunmasını önlemeye yöneliktir.

2.2. Korelasyon temelli eleme

Pearson korelasyonu, iki sayısal değişken arasındaki doğrusal değişimi özetler. Bu çalışmada eğitim gözlemlerinden hesaplanan korelasyonun mutlak değeri kullanılmıştır. Böylece güçlü pozitif ve güçlü negatif ilişkiler aynı eleme ölçütüne tabi tutulmuştur. Korelasyon matrisinin köşegenindeki birim değerler eleme değerlendirmesine dahil edilmemiştir. Eşitlik 1, korelasyon hesabını göstermektedir.

$$r_{jk} = \frac{\sum_i (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{[\sum_i (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_i (x_{ik} - \bar{x}_k)^2]}} \quad (1)$$

Çalışma kapsamında dört eşik tanımlanmıştır: $\tau = 0{,}70$; 0,80; 0,90 ve 0,95. Her eğitim katında başlangıçta bütün özellikler tutulmuştur. Korunan özellikler arasındaki en yüksek $|r|$ değerine sahip çift belirlenmiştir. Bu değer eşikten büyükse çiftten bir sütun çıkarılmıştır. Çıkarılacak sütun, halen korunan diğer sütunlarla ortalama mutlak korelasyonu daha büyük olan değişken olarak seçilmiştir. Ortalama değerler eşitse özgün dosyada daha sonra bulunan sütun çıkarılmıştır. En yüksek çiftin eşit olduğu durumlarda özgün sütun sırası kullanılmıştır. İşlem bütün korunan çiftlerde $|r| \leq \tau$ sağlanana kadar sürdürülmüştür.

Bu kuralın avantajı, hangi sütunun neden çıkarıldığının yeniden üretilebilir olmasıdır. Başka bir deyişle, aynı eğitim verisi ve eşik kullanıldığında aynı özellikler seçilir. Eleme işleminde sınıf bilgisi kullanılmadığı için sınıfları ayırma için kullanılan yararlı bir özellik de çıkarılabilir. Model başarısı eleme kararında ölçüt olarak kullanılmaz. Aynı eğitim katında eşik düşürüldüğünde eleme kaldığı yerden devam eder. Dolayısıyla düşük eşikte korunan her özellik, yüksek eşikte de korunur. Tablo 2'de eğitim ve test verilerine uygulanan işlemler özetlenmiştir.

Tablo 2. Eğitim ve test verilerine uygulanan işlemler

İşlem	Eğitim verisi	Test verisi
Tekilleştirme	Doğrulama öncesinde veri kimliği denetimi	Aynı girdi bir kez değerlendirilir
Korelasyon ve eleme	Katsayı ve sütun kümesi öğrenilir	Eğitimde seçilen sütunlar kullanılır
Ölçeklendirme	Ortalama ve standart sapma öğrenilir	Eğitim parametreleri uygulanır
Model öğrenimi	Parametreler eğitim kayıtlarından öğrenilir	Yalnızca tahmin üretilir
Başarı ölçümü	Eleme kararı için kullanılmaz	Tahminler gerçek etiketlerle karşılaştırılır

Tüm özellikler, korelasyon nedeniyle hiçbir sütunun çıkarılmadığı referans veri setidir. Çalışmada "Tümü" olarak adlandırılmıştır. Sütun sayısının değişmediği ve aynı alt kümenin oluştuğu koşullarda aynı katın model tahminleri yeniden kullanılmıştır. Bu uygulama, eşdeğer girdi kümelerinin farklı sonuç vermesini önlemiştir.

2.3. Sınıflandırma algoritmaları ve değerlendirme ölçütleri

Çalışmada lojistik regresyon (LR), destek vektör makineleri (DVM), k-en yakın komşu (kNN) ve rastgele orman (RO) algoritmaları kullanılmıştır. Tablo 3, modellere ilişkin temel ayarları göstermektedir.

Tablo 3. Model ayarları

Model	Temel ayarlar
LR	L2 düzenlileştirme; C = 1; lbfgs; max_iter = 5000; tolerans 10^{-6}
DVM	RBF çekirdek; C = 1; gamma = scale; tolerans 10^{-3}
kNN	k = 5; eşit komşu ağırlığı; Öklid uzaklığı
RO	200 ağaç; max_features = sqrt; sınırsız derinlik; n_jobs = 1

Parametreler bütün veri ve eleme koşullarında aynı kuralla sabitlenmiştir. Model ayarı araması kullanıldığında seçim ve başarı tahmininin ayrı doğrulama katmanlarında yürütülmesi gerekir (Varma ve Simon, 2006). Bu amaçla hiperparametre araması yapılmamıştır.

LR, DVM ve kNN için her özelliğin ortalaması ve standart sapması eğitim verisinden hesaplanmıştır. Eğitim ve test verileri aynı değerlerle standartlaştırılmıştır. RO'da ölçeklendirme yapılmamıştır. RO'da her ağaç bölünmesinde değerlendirilen aday özellik sayısı, modelde kalan özellik sayısının karekköküne göre belirlenmiştir. DVM'de gamma = scale ayarı kullanılmıştır. Bu ayar, çekirdek genişliğini belirleyen gamma değerini özellik sayısına ve girdi değerlerinin varyansına göre hesaplar. Model ayarları sabit tutulmuştur.

Beş katlı çapraz doğrulama üç kez uygulanmıştır. Her tekrarda veriler, sınıf oranları gözetilerek beş parçaya ayrılmıştır. Her parça bir kez test için kullanılmış ve model kalan dört parçayla

eğitilmiştir. Bölmeler 2026, 2027 ve 2028 rastgelelik tohumlarıyla oluşturulmuştur. Bir veri setindeki tüm modeller ve eşik koşulları için aynı bölmeler kullanılmıştır. Beş veri seti, dört model ve beş koşulun her biri için 15 kat sonucu alınmış, toplam 1.500 değerlendirme kaydı elde edilmiştir.

Her model ve koşul için başarı ölçütlerinin 15 test katındaki aritmetik ortalaması alınmıştır. Standart sapma, sonuçların katlar arasında ne kadar değiştiğini göstermek için verilmiştir. Güven aralığı hesaplanmamıştır. Matthews korelasyon katsayısı (MCC), hata matrisindeki tüm doğru ve yanlış sınıflandırmaları dikkate alan ek bir ölçüt olarak kullanılmıştır (Chicco ve Jurman, 2020).

Eğitim süresi perf_counter ile tek iş parçacığında ölçülmüştür. Sonuçlar medyan süre olarak verilmiştir. Veri okuma, grafik çizimi ve tahmin için geçen süreler eğitim süresine katılmamıştır. Çalışmada kullanılan ölçütler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Başarı ölçütleri

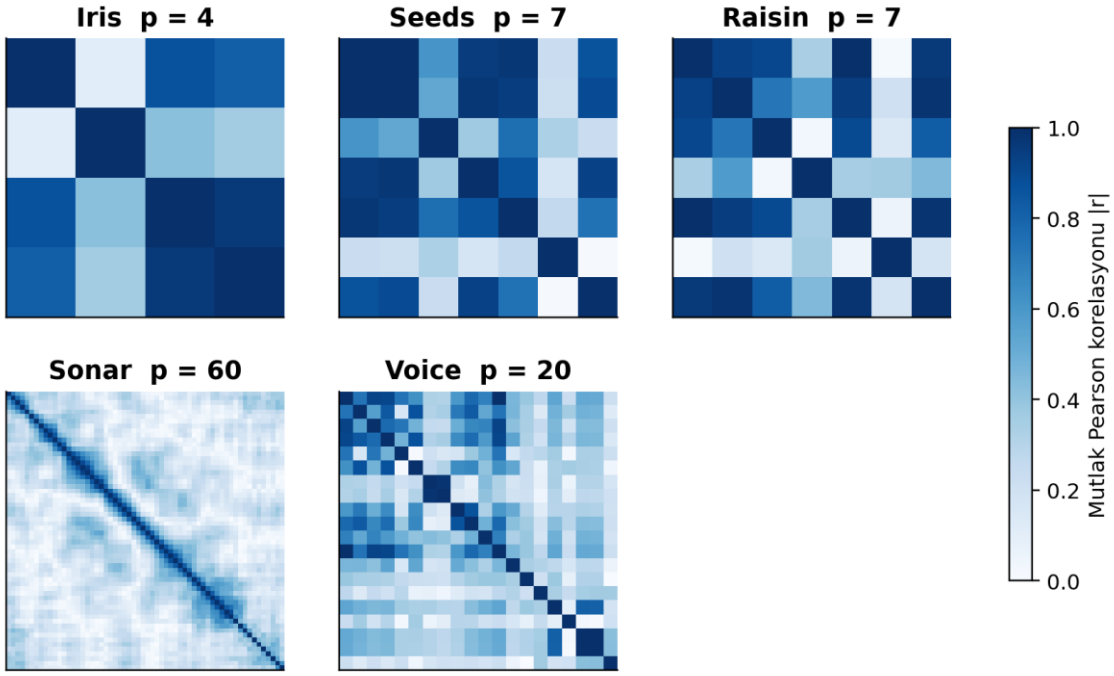
Ölçüt	Tanım
Makro F1	Her sınıfın F1 değerinin eşit ağırlıklı ortalaması; birincil ölçüt
Doğruluk	Doğru tahmin sayısının test gözlemi sayısına oranı
Dengeli doğruluk	Sınıf bazlı duyarlılıkların eşit ağırlıklı ortalaması
MCC	Hata matrisinin bütün hücrelerini kullanan ilişki katsayısı
Eğitim süresi	Korelasyon elemesi + gerekiyorsa ölçeklendirme + model öğrenimi

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Korelasyon yapısı ve özellik eleme

Şekil 1'de, özellikler elenmeden önce her veri setinin tamamı için hesaplanan mutlak Pearson korelasyonları gösterilmiştir. Koyu hücreler, iki özellik arasındaki ilişkinin daha güçlü olduğunu göstermektedir. Şekildeki p, veri setinin başlangıçtaki özellik sayısıdır.

Farklı özellikler arasındaki en yüksek mutlak korelasyon Iris'te 0,962, Seeds'te 0,994 ve Raisin'de 0,996'dır. Bu değer Sonar'da 0,926, Voice'ta ise yaklaşık 1,000'dır. Mutlak korelasyonu 0,80'i aşan özellik çifti sayısı Iris'te 3, Voice'ta 14'tür. Sonar'da 1.770 çiftin 32'si (%1,81) bu eşiği aşmıştır. Seeds ve Raisin'de ise 21 çiftin 9'u (%42,86) eşik üzerindedir. Sonar'da eşiği aşan çift sayısı daha fazla olsa da bu çiftlerin toplam içindeki payı daha düşüktür.



Şekil 1. Veri setlerinin mutlak Pearson korelasyon haritaları

Tablo 5'te, her eşikte korunan özellik sayısının 15 eğitim katındaki ortalaması verilmiştir. 0,80 eşiğinde Iris'te ortalama 2,07, Seeds'te 4, Raisin'de 3, Sonar'da 38,27 ve Voice'ta 12 özellik korunmuştur. Eşik 0,95'e çıkarıldığında Sonar'daki 60 özelliğin tamamı korunmuş, diğer veri setlerinde ise en az bir özellik çıkarılmıştır. Aynı eşik kullanıldığında çıkarılan özellik sayısı veri setine göre değişmiştir.

Tablo 5. Korunan özellik sayısının 15 eğitim katındaki ortalaması

Veri	Başlangıç p	0,70	0,80	0,90	0,95
Iris	4	2,00	2,07	3,00	3,00
Seeds	7	3,00	4,00	4,00	5,00
Raisin	7	3,00	3,00	3,00	4,00
Sonar	60	29,67	38,27	56,60	60,00
Voice	20	11,00	12,00	16,00	17,00

3.2. Makro F1 sonuçları

Tablo 6'da LR, RBF çekirdekli DVM, kNN ve RO için ortalama makro F1 değerleri verilmiştir. Her değer 15 test katının ortalamasıdır. Tümü sütunu, özellik eleme yapılmadan elde edilen sonuçları göstermektedir. Değerler üç ondalık basamağa yuvarlanmıştır.

Iris'te tüm özellikler kullanıldığında makro F1 değerleri 0,948 ile 0,962 arasında değişmiştir. 0,80 eşiğinde dört modelin de başarısı düşmüştür. En büyük düşüş RO'da görülmüş, makro F1 değeri 0,951'den 0,737'ye inmiştir. 0,90 ve 0,95 eşiklerinde kayıplar daha küçük kalmıştır. Hiçbir model eleme sonrasında tüm özelliklerle elde ettiği değerden daha yüksek bir başarı elde etmemiştir.

Seeds ve Raisin'de mutlak korelasyonu 0,80'i aşan özellik çiftlerinin oranı aynıdır (%42,86, Şekil 1). Eleme sonrasında iki veri setinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Seeds'te 0,95 eşiğinde LR, DVM ve RO'nun makro F1 değerleri artmıştır. En büyük artış RO'da görülmüş, değer 0,926'dan 0,939'a çıkmıştır. kNN en yüksek değerine tüm özelliklerle ulaşmıştır. Raisin'de 0,80 eşiğinde yedi özellikten üçü korunmuştur (Tablo 5). DVM ve kNN'nin başarısı yaklaşık aynı kalmış, LR ve RO'da küçük düşüşler görülmüştür.
Sonar'da 0,80 eşiğinde LR'nin makro F1 değeri 0,771'den 0,782'ye, kNN'nin değeri 0,792'den 0,811'e yükselmiştir. Aynı eşikte RO'nun değeri 0,843'ten 0,781'e düşmüştür. Voice'ta 0,80 eşiğinde özellik sayısı 20'den 12'ye inmiştir (Tablo 5). LR ve kNN'nin makro F1 değerleri yuvarlandığında aynı kalmış, DVM ve RO'da küçük düşüşler görülmüştür.

Tablo 6. Veri seti, model ve korelasyon eşiğine göre ortalama makro F1 sonuçları

Veri	Model	Tümü	0,70	0,80	0,90	0,95
Iris	LR	0,950	0,807	0,816	0,946	0,946
Iris	DVM	0,962	0,780	0,789	0,944	0,944
Iris	kNN	0,948	0,755	0,762	0,928	0,928
Iris	RO	0,951	0,730	0,737	0,930	0,930
Seeds	LR	0,930	0,891	0,921	0,921	0,934
Seeds	DVM	0,926	0,896	0,918	0,918	0,931
Seeds	kNN	0,931	0,883	0,915	0,915	0,926
Seeds	RO	0,926	0,879	0,933	0,933	0,939
Raisin	LR	0,864	0,855	0,855	0,855	0,855
Raisin	DVM	0,865	0,865	0,865	0,865	0,862
Raisin	kNN	0,845	0,845	0,845	0,845	0,841
Raisin	RO	0,859	0,855	0,855	0,855	0,849
Sonar	LR	0,771	0,777	0,782	0,771	0,771
Sonar	DVM	0,829	0,823	0,827	0,829	0,829
Sonar	kNN	0,792	0,811	0,811	0,791	0,792
Sonar	RO	0,843	0,780	0,781	0,835	0,843
Voice	LR	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
Voice	DVM	0,982	0,979	0,979	0,981	0,981
Voice	kNN	0,975	0,973	0,975	0,974	0,975
Voice	RO	0,980	0,976	0,976	0,980	0,979

3.3. Tamamlayıcı ölçütlere ilişkin sonuçlar

Tablo 7'de tüm özelliklerle elde edilen doğruluk değerleri, 0,80 eşiğindeki değerlerle karşılaştırılmıştır. 0,80 eşiği, beş veri setini aynı koşulda karşılaştırmak için kullanılmıştır. Dengeli doğruluk, Matthews korelasyon katsayısı (MCC) ve makro F1'in standart sapması (SS) yalnızca bu eşik için verilmiştir. Standart sapma, makro F1 değerlerinin 15 test katında ne kadar değiştiğini göstermektedir.
Tablo 7'deki doğruluk değişimleri ile Şekil 2'deki makro F1 değişimleri çoğu durumda aynı

yöndedir. Iris'te rastgele ormanın doğruluğu %95,02'den %73,55'e düşmüştür. Bu fark 21,47 yüzde puandır. Aynı modelin makro F1 değeri de 0,951'den 0,737'ye inmiştir (Tablo 6).
Sonar'da aynı eğitim ve test bölmeleri kullanıldığında doğruluk, LR'de 1,13 ve kNN'de 1,75 yüzde puan artmıştır. RO'da ise 6,09 yüzde puan azalmıştır. Sonar'da sınıf sayıları tam eşit olmadığı için dengeli doğruluk da incelenmiştir. Bu ölçüt, her sınıfın doğru tanınma oranına eşit ağırlık vermektedir.
Voice'ta LR ve kNN, Raisin'de DVM ve kNN için makro F1 değişimi 0,001'in altında kalmıştır. Test katları arasındaki değişim de veri setine göre farklıdır. Örneğin makro F1 standart sapması Iris'te 0,087 ile 0,100, Voice'ta 0,006 ile 0,007 arasındadır.

Tablo 7. Doğruluk karşılaştırması ve 0,80 eşiğine ait tamamlayıcı ölçütler

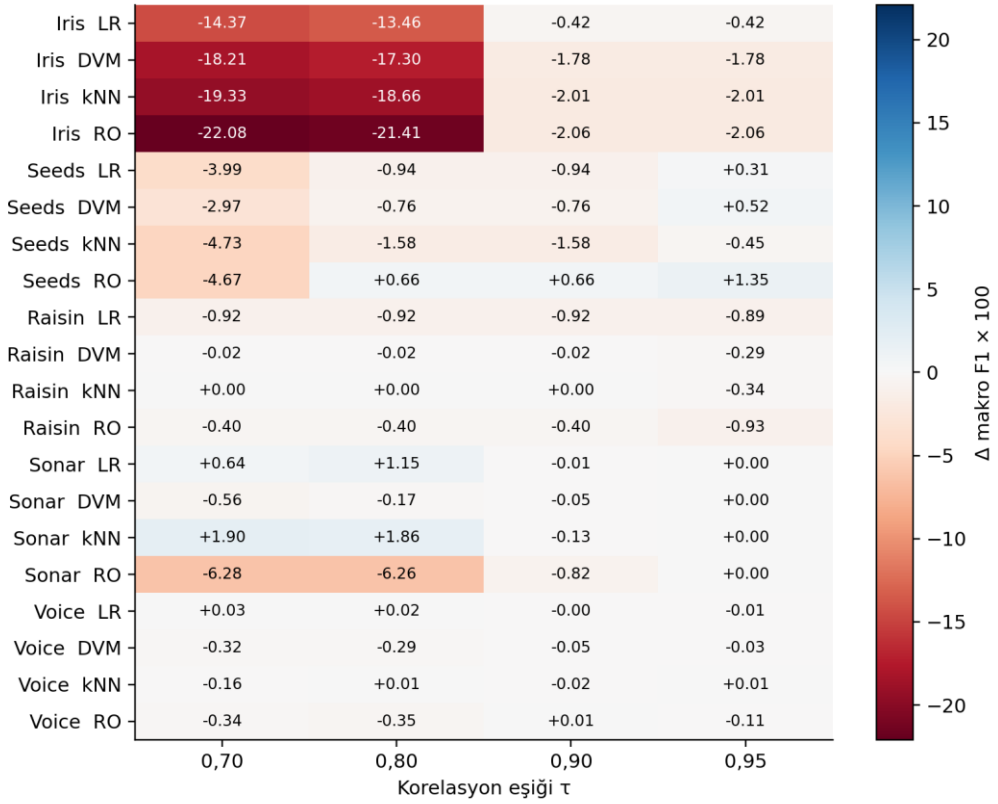
Veri	Model	Doğruluk Tümü %	Doğruluk 0,80 %	Dengeli doğruluk	MCC	Makro F1 SS
Iris	LR	95,00	81,50	0,815	0,725	0,088
Iris	DVM	96,14	78,76	0,788	0,683	0,088
Iris	kNN	94,77	76,00	0,761	0,642	0,100
Iris	RO	95,02	73,55	0,737	0,606	0,087
Seeds	LR	93,17	92,22	0,922	0,887	0,043
Seeds	DVM	92,70	91,90	0,919	0,882	0,041
Seeds	kNN	93,17	91,59	0,916	0,877	0,045
Seeds	RO	92,70	93,33	0,933	0,902	0,042
Raisin	LR	86,44	85,52	0,855	0,711	0,022
Raisin	DVM	86,56	86,52	0,865	0,733	0,026
Raisin	kNN	84,48	84,48	0,845	0,692	0,026
Raisin	RO	85,89	85,48	0,855	0,711	0,020
Sonar	LR	77,27	78,40	0,783	0,569	0,076
Sonar	DVM	83,19	83,03	0,827	0,666	0,062
Sonar	kNN	79,83	81,58	0,811	0,639	0,057
Sonar	RO	84,63	78,54	0,781	0,576	0,078
Voice	LR	97,19	97,21	0,972	0,944	0,007
Voice	DVM	98,17	97,87	0,979	0,958	0,006
Voice	kNN	97,46	97,47	0,975	0,950	0,007
Voice	RO	97,98	97,63	0,976	0,953	0,006

3.4. Modele göre makro F1 değişimi

Şekil 2'de her korelasyon eşiğindeki makro F1 değeri, tüm özelliklerle elde edilen değerle karşılaştırılmıştır. Farklar 100 ile çarpılarak gösterilmiştir. Pozitif değerler artışı, negatif değerler düşüşü göstermektedir.
Iris'te dört modelde de en büyük düşüşler 0,70 ve 0,80 eşiklerinde görülmüştür. 0,90 ve 0,95 eşiklerinde aynı özellikler korunduğu için aynı tahminler elde edilmiştir. Sonar'da 0,95 eşiğinde 60 özelliğin tamamı korunmuştur (Tablo 5). Bu eşikte dört modelin makro F1 değeri, tüm özelliklerle elde edilen değere eşittir (Tablo 6).

Raisin'de 0,70, 0,80 ve 0,90 eşiklerinde aynı üç özellik korunmuştur: MinorAxisLength, Eccentricity ve Extent. Her model bu üç eşikte aynı makro F1 değerini vermiştir (Tablo 6). Voice'ta 0,80 eşiğinde özellik sayısı 20'den 12'ye düşmüştür (Tablo 5). LR ve kNN'nin başarısı çok az değişmiş, DVM ve RO'da küçük düşüşler görülmüştür.

0,80 eşiğinde yapılan 20 karşılaştırmanın 6'sında makro F1 artmış, 14'ünde azalmıştır. Bazı artışlar çok küçüktür. Bu eşikte en büyük artış Sonar'da kNN ile yaklaşık 0,019, en büyük düşüş Iris'te RO ile yaklaşık 0,214 olmuştur. Tek bir ortalama, bu artış ve düşüşleri gizleyebileceği için sonuçlar her veri seti ve model için ayrı gösterilmiştir.



Şekil 2. Tüm özelliklerle elde edilen sonuca göre makro F1 değişimi

3.5. Eğitim süresi ve veri setleri arası istatistiksel karşılaştırma

Tablo 8'de, tüm özelliklerle ve 0,80 eşiğinde elde edilen medyan eğitim süreleri karşılaştırılmıştır. Süre oranı, 0,80 eşiğindeki medyan sürenin tüm özelliklerle elde edilen medyan süreye bölünmesiyle hesaplanmıştır. Oranın 1'in altında olması eğitimin kısaldığını, 1'in üstünde olması uzadığını gösterir. Özellik eleme için geçen süre hesaba katılmıştır. Tahmin süresi hesaba katılmamıştır.

Voice'ta 0,80 eşiğinde LR'nin eğitim süresi yaklaşık %39,49, RO'nun eğitim süresi %24,95 azalmıştır. Bu iki modelin makro F1 değerleri çok az değişmiştir (Şekil 2). Aynı veri setinde kNN'nin eğitim süresi 1,54 ms'den 3,28 ms'ye çıkmıştır. kNN'nin model eğitimi kısa sürdüğü için korelasyon hesabı toplam süreyi uzatabilmektedir.

Tablo 8. Tüm özelliklerle ve 0,80 eşiğinde medyan eğitim süreleri

Veri	Model	Tümü ms	0,80 ms	Süre oranı
Iris	LR	2,79	2,48	0,89
Iris	DVM	1,14	1,25	1,09
Iris	kNN	0,79	0,95	1,21
Iris	RO	144,63	146,83	1,02
Seeds	LR	3,32	3,04	0,91
Seeds	DVM	1,31	1,39	1,06
Seeds	kNN	0,91	1,07	1,18
Seeds	RO	145,90	148,66	1,02
Raisin	LR	3,33	2,22	0,67
Raisin	DVM	5,16	4,85	0,94
Raisin	kNN	1,18	1,18	1,00
Raisin	RO	242,73	198,86	0,82
Sonar	LR	4,38	4,28	0,98
Sonar	DVM	1,92	2,76	1,44
Sonar	kNN	0,84	1,78	2,13
Sonar	RO	185,77	181,96	0,98
Voice	LR	6,85	4,15	0,61
Voice	DVM	21,33	22,86	1,07
Voice	kNN	1,54	3,28	2,13
Voice	RO	895,45	672,04	0,75

İstatistiksel karşılaştırmada, her model için beş koşul veri seti içinde ortalama makro F1 değerlerine göre sıralanmıştır (Tablo 6). Eşit değerlere ortalama sıra verilmiştir. Test katları bağımsız gözlemler olarak değerlendirilmemiştir (Nadeau ve Bengio, 2003). Friedman testinin p değerini hesaplamak için koşul etiketleri her veri seti içinde rastgele karıştırılmıştır. Bu işlem 100.000 kez tekrarlanmıştır. Dört model için elde edilen p değerlerine Holm düzeltmesi uygulanmıştır (Demšar, 2006).

Tablo 9'a göre, Holm düzeltmesinden sonra yalnızca DVM'de koşullar arasında anlamlı fark bulunmuştur (düzeltilmiş p = 0,0085). RO'nun p değeri düzeltmeden önce 0,0476, düzeltmeden sonra 0,1428'dir.

Tablo 9. Permütasyon testi ve Holm düzeltmesi sonuçları

Model	Permütasyon p	Holm p
LR	0,4936	0,9873
DVM	0,0021	0,0085
kNN	0,7307	0,9873
RO	0,0476	0,1428

4. SONUÇ

Korelasyona göre özellik elemenin etkisi, veri setine ve modele göre değişmiştir. Eleme Iris'te başarıyı düşürmüş, Sonar'da bazı modellerin başarısını artırmıştır. Voice'ta özellik sayısı 20'den 12'ye düşmesine rağmen başarı büyük ölçüde korunmuştur (Tablo 5 ve 6). İki özelliğin birbiriyle güçlü ilişkisi olması, sınıfları ayırmada aynı bilgiyi taşıdıkları anlamına gelmez (Hall, 1999; Guyon ve Elisseeff, 2003; Peng vd., 2005; Dormann vd., 2013).

Iris'te 0,80 eşiğinde 15 eğitim katının 14'ünde yalnızca çanak yaprak uzunluğu ve genişliği korunmuştur. Bir katta taç yaprak genişliği de kullanılmıştır. Eleme sırasında sınıf bilgisi kullanılmadığı için taç yaprak ölçülerinin türleri ayırmadaki katkısı dikkate alınmamıştır. Bu ölçülerin çıkarılması, başarıdaki düşüşün bir nedeni olabilir. 0,90 ve 0,95 eşiklerinde daha fazla özellik korunmuş ve kayıp daha küçük kalmıştır.

Sonar'da 0,80 eşiğinde LR ve kNN'nin makro F1 değeri artmış, RO'nun değeri düşmüştür (Şekil 2). Benzer özelliklerin elenmesi, kNN'de aynı bilginin uzaklık hesabına birden fazla kez yansımasını azaltmış olabilir. RO'da ise ağaçların kullanabileceği bazı bölünme seçenekleri azalmış olabilir. Raisin'de DVM ve kNN, yedi yerine üç özellikle benzer makro F1 değerleri vermiştir.

Eğitim süresi de modele göre değişmiştir. Voice'ta elemeden sonra LR ve RO daha kısa sürede eğitilmiş, kNN'nin eğitim süresi uzamıştır (Tablo 8). kNN'de model eğitimi kısa sürdüğü için korelasyon hesabı toplam süreyi uzatabilir. Özellik sayısı değiştiğinde DVM'nin gamma değeri ve RO'nun her bölünmede değerlendirdiği aday özellik sayısı da değişebilir.

Çalışmada beş veri seti ve dört sınıflandırıcı kullanılmıştır. Model ayarları sabit tutulmuştur. Pearson korelasyonu doğrusal ilişkileri ölçtüğü için doğrusal olmayan ilişkiler eleme kararına yansımamıştır. Voice'ta konuşmacı, Sonar'da nesne ve ölçüm oturumu kimlikleri bulunmadığı için eğitim ve test kayıtları bu gruplara göre ayrılamamıştır. Yeni konuşmacı veya nesnelerdeki başarı ayrıca doğrulanmamıştır. Eğitim süreleri tek bir çalışma ortamında ölçülmüştür.

Sonuç olarak, 0,70 veya 0,80 gibi sabit eşiklerin her veri setine doğrudan uygulanması önerilmemektedir. Eleme yapıldığında sonuçlar, aynı doğrulama bölmeleri kullanılarak tüm özelliklerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırmada başarı, korunan özellik sayısı ve eğitim süresi birlikte incelenmelidir. Eşik başarıya göre seçilecekse bu seçim eğitim verisi içinde yapılan çapraz doğrulamada tamamlanmalı, dış test verisi son değerlendirmeye ayrılmalıdır (Varma ve Simon, 2006). Sonraki çalışmalarda Spearman korelasyonu ve sınıf bilgisini kullanan seçim yöntemleri denenebilir. Seçilen özellikler, aynı sayıda rastgele seçilmiş özellikle karşılaştırılabilir. Grup kimlikleri bulunan verilerde eğitim ve test kayıtları gruplara göre ayrılabilir.

KAYNAKÇA

Becker, K. (2016). Gender recognition by voice [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/primaryobjects/voicegender adresinden erişildi.

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45, 5–32. doi:10.1023/A:1010933404324

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC Genomics, 21, 6. doi:10.1186/s12864-019-6413-7

Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. Machine Learning, 20, 273–297. doi:10.1007/BF00994018

Cover, T. M., & Hart, P. E. (1967). Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory, 13(1), 21–27. doi:10.1109/TIT.1967.1053964

Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. Journal of Machine Learning Research, 7, 1–30. https://jmlr.org/papers/v7/demsar06a.html adresinden erişildi.

Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., . . . Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. Ecography, 36, 27–46. doi:10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x

Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. Journal of Machine Learning Research, 3, 1157–1182. https://jmlr.org/papers/v3/guyon03a.html adresinden erişildi.

Hall, M. A. (1999). Correlation-based feature selection for machine learning (Doktora tezi, University of Waikato). https://researchcommons.waikato.ac.nz/items/12a40834-bf51-4d87-89ef-d00c2740f0d8 adresinden erişildi.

Köklü, M. (2022). Raisin dataset [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/muratkokludataset/raisin-dataset adresinden erişildi.

Nadeau, C., & Bengio, Y. (2003). Inference for the generalization error. Machine Learning, 52, 239–281. doi:10.1023/A:1024068626366

Peng, H., Long, F., & Ding, C. (2005). Feature selection based on mutual information: Criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(8), 1226–1238. doi:10.1109/TPAMI.2005.159

rupakroy. (2022). sonar.csv [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/rupakroy/sonarcsv adresinden erişildi.

rwzhang. (2018). Seeds dataset [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/rwzhang/seeds-dataset adresinden erişildi.

UCI Machine Learning. (2016). Iris species [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/uciml/iris adresinden erişildi.

Varma, S., & Simon, R. (2006). Bias in error estimation when using cross-validation for model selection. BMC Bioinformatics, 7, 91. doi:10.1186/1471-2105-7-91

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS METHODS FOR AGGREGATES

Talip AKYIL
Dicle University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0009-0000-7434-2386
Prof. Dr. Orhan KAVAK
Dicle University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8068-3352

ABSTRACT
Joint evaluation of technical performance and total cost in aggregate production is important for plant design and source selection decisions. This study describes a techno-economic analysis framework encompassing quarry preparation, extraction, crushing and screening, stockpiling, and dispatch. Capacity, availability, specific energy consumption, product losses, capital expenditure (CAPEX), operating expenditure (OPEX), and unit production and delivered costs are considered key indicators. Principles for applying net present value, payback period, sensitivity analysis, scenario comparison, and multi-criteria decision-making are discussed. As actual operational data are unavailable, no numerical profitability or payback results are claimed. Verification of measured tonnage, energy, maintenance, and dispatch records is recommended for reliable decisions. (Langer, 2011)
Keywords: Aggregate, techno-economic analysis, CAPEX, OPEX, unit cost, sensitivity analysis

1. INTRODUCTION
Investment decisions in aggregate production based solely on installed capacity or initial purchase price may lead to incomplete assessments of production and delivered costs. Quarry conditions, the crushing-screening circuit, energy consumption, maintenance needs, product losses, and transport distance jointly determine overall economic performance. A techno-economic approach that considers technical adequacy and economic outcomes within the same analytical framework is therefore necessary. (Peurifoy et al., 2018)

This study aims to present system boundaries, technical indicators, capital and operating expenditures, cash-flow analysis, sensitivity analysis, and scenario analysis methods for comparing aggregate production alternatives. Consistent with the scope of the presentation, this is a methodological review; because measured production, cost, or sales data from a specific operation were not used, actual profitability and payback results are not reported.
In techno-economic assessments, alternatives must be compared using consistent product definitions, production boundaries, time periods, and cost coverage. For example, an alternative covering only crushing-screening plant costs cannot be directly compared with another that also includes transport and stockpiling. Consistent system boundaries reduce interpretation errors. (TS 706 EN 12620); (TS EN 13043)

2. SYSTEM BOUNDARIES AND DATA REQUIREMENTS

For a comparable analysis, quarry preparation, drilling and blasting or mechanical excavation, loading, haulage, crushing, screening, stockpiling, and dispatch must be clearly defined. Alternatives should be compared on the basis of identical product quality, production period, capacity definition, and delivery destination. Confusing ex-quarry cost with delivered-to-site cost can lead to incorrect choices. (TS 706 EN 12620); (TS EN 13043)

Key inputs include feed and saleable product tonnages, product fractions, operating hours, equipment availability, electricity consumption, fuel consumption, maintenance records, personnel costs, and transport distance. Data should be verified against weighbridge tickets, meters, invoices, and maintenance records. When monetary data from different dates are used, a common price period and currency must be specified. (Peurifoy et al., 2018) (TS EN 933-1)

For production quantities, total feed entering the plant must be distinguished from specification-compliant saleable product. If fines, waste, recirculated material requiring recrushing, and stock changes are not recorded, cost per tonne may be underestimated. Separately reporting actual operating hours and planned shutdowns also facilitates understanding of capacity utilization.

2.1. Technical Performance Indicators

Production capacity can be expressed in tonnes/hour, while capacity utilization can be defined as the ratio of actual output to specified theoretical or planned capacity. Availability should be monitored together with unplanned downtime and maintenance duration. Reduced capacity utilization can increase unit costs because fixed costs are distributed over fewer saleable tonnes. (Peurifoy et al., 2018)

Specific electricity consumption can be calculated in kWh/tonne by dividing the electricity consumed during a given period by the tonnage of compliant product produced in that period. Installed motor power alone is not an efficiency indicator; actual consumption, production volume, and product gradation should be evaluated together. Product losses, fines content, and the need for recrushing should also be included among technical indicators.

The distinction between CAPEX and OPEX is fundamental to the financial model. Equipment with a low initial price may have high energy consumption or maintenance requirements, increasing total cost of ownership. Equipment alternatives should therefore be assessed in terms of capital investment, economic life, replacement costs, spare parts, and the effects of downtime. (Peurifoy et al., 2018)

3. COST STRUCTURE

Capital expenditure (CAPEX) includes investment items such as land and permitting, infrastructure, crushers, screens, conveyors, mobile machinery, installation, and commissioning. Assumptions regarding equipment economic life, replacement needs, and salvage value should be disclosed. A lower initial investment does not necessarily imply a lower total cost of ownership because of maintenance and energy costs. (Peurifoy et al., 2018)

Operating expenditure (OPEX) may include electricity, fuel, personnel, maintenance and repair, consumables, water, environmental controls, and administrative overheads. Fixed and variable expenses should be separated; accounting charges such as depreciation and cash expenditures must not be double-counted in the cash-flow model. The data source and calculation period for each cost item should be documented. (Peurifoy et al., 2018)

3.1. Unit Production and Delivered Costs

Unit production cost = total production cost for the relevant period / saleable product tonnage in the same period. For this indicator to be meaningful, inventory changes, losses, and by-products should be reported separately. Ranking alternatives with different product quality solely by cost per tonne is insufficient. (Peurifoy et al., 2018) (TS 706 EN 12620); (TS EN

13043)

Delivered cost should account for quarry–plant–construction site distances, vehicle carrying capacity, load factor, trip cycle time, fuel consumption, and road conditions. A distant quarry with a low production cost may lose its advantage at the delivery point because of high transportation expenses. Alternative sources should therefore be compared, where possible, using unit costs at the same delivery destination.

In addition to distance, transportation cost depends on vehicle capacity, load factor, cycle time, and return-trip conditions. Cost per delivered tonne can better reflect the actual economic implications of source selection. However, because regional pricing and logistics data were not provided, no economic superiority is claimed for any facility. (Peurifoy et al., 2018)

3.2. Crushing, Screening, and Maintenance Options

Primary and secondary crushing stages should be selected according to feed size, target product fractions, and rock characteristics. Crusher type may affect particle shape, energy consumption, wear-part service life, and maintenance needs. Plant alternatives should be evaluated simultaneously for product specification compliance and production cost. (Peurifoy et al., 2018) (TS EN 933-1)

Unplanned downtime not only generates maintenance expenses but also reduces saleable production. Costs related to preventive maintenance, critical spare-parts inventories, and operator training may be assessed against the potential reduction in downtime. Such a comparison requires actual failure frequencies and downtime durations. (Peurifoy et al., 2018)

4. FINANCIAL EVALUATION METHODS

In cash-flow analysis, initial investment, periodic sales revenues, operating expenses, taxes, and replacement expenditures are allocated to separate time periods. Net present value (NPV) is obtained by discounting future net cash flows at a selected discount rate and subtracting the initial investment. Assumptions concerning the discount rate, evaluation horizon, and terminal value must be clearly reported.

The payback period is the time at which cumulative net cash flow covers the initial investment. Because simple payback does not fully reflect the time value of money, it is insufficient on its own for investment decisions. Considering it together with NPV provides a more balanced decision framework. Where operational data are unavailable, the calculation method, rather than computed indicator values, should be presented.

In net present value analysis, periodic cash flows are discounted to the present using a specified discount rate. The discount rate, project lifetime, and scope of cash flows must be stated clearly. Although the payback period is easier to understand, it does not adequately capture the time value of money or returns after payback when used alone.

4.1. Sensitivity and Scenario Analysis

Sensitivity analysis can examine the effects of individually varying parameters such as fuel prices, electricity tariffs, saleable output, capacity utilization, and transport distance on unit cost or NPV. This identifies which assumptions exert the greatest influence on decisions. Baseline values and variation ranges must be explicitly stated.

Scenario analysis may establish internally consistent alternative operating conditions, such as low, baseline, and high capacity. Product standards, system boundaries, and cost classifications should remain consistent across scenarios. If unmeasured illustrative values are used, they must be clearly labeled as hypothetical rather than presented as actual field findings. (TS 706 EN 12620); (TS EN 13043)

4.2. Multi-Criteria Decision-Making and Environmental Costs

Cost, product quality, delivery time, energy consumption, emissions, and operational risk may all enter the same decision problem. In multi-criteria evaluation, criterion weights and scoring rationale must be defined transparently. Examining how rankings change when weights are adjusted tests the robustness of the decision. (Langer, 2011) (TS 706 EN 12620); (TS EN 13043)

Costs of dust suppression, waste management, water consumption, environmental monitoring, and site rehabilitation should not be excluded from the economic model. A comparison focused only on direct production expenses may underestimate the life-cycle costs of some alternatives. (Langer, 2011)

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Technical performance and economic feasibility should be evaluated together in aggregate production. Comparable system boundaries, reliable production tonnages, separation of CAPEX and OPEX, unit cost, cash flow, and sensitivity analysis are essential tools. The lowest initial investment does not always produce the lowest life-cycle cost. (Langer, 2011)

Operators are advised to maintain regular records of energy, fuel, maintenance, downtime, inventories, and dispatch, and to compare alternative plant designs under identical assumptions. Future applications using scenarios verified against actual plant records will reduce uncertainty in investment decisions. Because this study is methodological, it makes no claim regarding profitability, payback period, or economic superiority for any plant.

Sensitivity and scenario analyses reveal the assumptions on which decisions depend. The same calculation framework should be maintained for energy, fuel, production volume, maintenance, and transport variables. Without actual operational records, only the methodological framework for these analyses can be presented; numerical profitability or return-on-investment results cannot be generated.

THESIS ACKNOWLEDGMENT

*This study was prepared based on the Master's thesis entitled *"Determination of the Performance and Techno-Economic Analysis of Aggregates of Different Origins: The Case of Diyarbakır"* (Diyarbakır, Türkiye, 2026), completed by Talip AKYIL in the Department of Mining Engineering (General Geology), Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dicle University, under the supervision of Prof. Dr. Orhan KAVAK during the Fall Semester of the 2026–2027 academic year.

REFERENCES

TS 706 EN 12620. Aggregates for concrete (EN 12620). Turkish Standards Institution.

TS EN 933-1. Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method. Turkish Standards Institution.

TS EN 1097-2. Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation. Turkish Standards Institution.

TS EN 13043. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. Turkish Standards Institution.

U.S. Geological Survey (USGS). (2026). Mineral Commodity Summaries 2026: Crushed Stone. USGS.

Langer, W. H. (2011). Aggregate Resource Availability in the Conterminous United States, Including Suggestions for Addressing Shortages, Quality, and Environmental Concerns. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2011–1119. https://doi.org/10.3133/ofr20111119

Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., Schmitt, R. and Shapira, A. (2018). Construction Planning, Equipment, and Methods (9th ed.). McGraw-Hill Education.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PROPERTIES OF AGGREGATES IN DIYARBAKIR

Talip AKYIL
Dicle University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0009-0000-7434-2386
Prof. Dr. Orhan KAVAK
Dicle University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8068-3352

ABSTRACT
This study discusses methods for evaluating the geological, physical, mechanical, and engineering properties of aggregate raw materials in Diyarbakır and its surroundings. The petrographic characteristics of basaltic volcanic rocks and carbonate rocks are considered together with particle-size distribution, particle shape, density, water absorption, resistance to fragmentation, and durability indicators. It emphasizes that product suitability for concrete, asphalt, and road-base applications must be verified against the relevant standards and specifications. Representative sampling, quality control during crushing and screening, stockpile management, and environmental impacts are evaluated holistically. This is a literature- and standards-based methodological review and does not present measured numerical field results. Accordingly, source selection should be based on the quarry, product, and intended application rather than generalizations based solely on rock names.
Keywords: Aggregate, Diyarbakır, basalt, limestone, gradation, quality control

1. INTRODUCTION
Aggregate is a granular construction material obtained naturally or by crushing and used in concrete, bituminous mixtures, road base and subbase layers, and various infrastructure applications. Its engineering performance depends not only on rock type but also on rock texture, degree of weathering, particle shape produced during processing, and final product gradation. Therefore, even materials from different quarries within the same lithological unit should be evaluated separately. (Langer, 2011)
Diyarbakır and its surrounding area contain different lithological sources, including basaltic volcanic rocks and carbonate rocks. Using local raw materials is important for regional construction and transport investments in terms of supply continuity and transport requirements. However, local origin alone does not guarantee technical suitability. Compliance with application-specific specifications must be verified through testing.
This study aims to systematically discuss the geological, physical, mechanical, and production-related characteristics of potential aggregate resources in Diyarbakır based on the parameters identified in the presentation and relevant standards. It is a literature and methodological assessment; it includes neither measured test results from particular quarries nor comparative numerical performance claims.
Identifying rock type alone is insufficient when evaluating geological units as aggregate resources. Weathering, fracture density, porosity, and local mineralogical variations may occur within the same lithological unit. It is therefore recommended to identify samples from quarry faces and stockpiles separately, examine each product fraction according to its intended use, and compare results across production periods. (Langer, 2011)

2. MATERIALS AND METHODS

The assessment framework comprises lithological identification of source rocks, representative sampling, selection of standardized laboratory tests, and comparison of results with the acceptance criteria of the intended application. A quarry assessment should first examine geological continuity, bedding, fracturing, alteration, and overburden; samples from quarry faces and product stockpiles should then receive separate identification codes.

The sampling plan should record the production bench, stockpile fraction, date, coordinates, and material origin. A single sample should not be assumed to represent all production; variations in feed material and finished products must be considered. Results should be evaluated in accordance with the sample preparation, replication, and reporting requirements specified by the test standard.

Sampling must represent different particle-size groups, prevent the loss of fines, and document the moisture condition of the material. Comparability of analyses depends not only on using the same test standard but also on consistent sample preparation, sieving, drying, and reporting procedures.

2.1. Geological and Petrographic Characterization

In basaltic rocks, mineral composition, cooling texture, vesicles, microfractures, and degree of weathering should be examined in relation to particle strength, water absorption, and fracture behavior. Vesicular or highly weathered sections cannot be assumed to perform like intact rock. Particle shape produced during crushing may also vary according to crusher type and circuit configuration.

For limestone and other carbonate rocks, carbonate composition, the presence of clay or weak interbeds, fracture systems, and durability are important. Petrographic examination helps identify potentially harmful constituents and interpret mechanical test results. However, petrographic identification alone does not constitute certification of suitability for concrete or asphalt.

In basalt-derived aggregates, the coexistence of vesicular and dense-textured fragments within the same stockpile may cause variation in particle density and water absorption. In carbonate rocks, clay-bearing interlayers or weathered zones may require separation from clean, durable material. Such differences must not be translated into claims of numerical superiority without site-specific testing.

2.2. Physical and Geometrical Properties

Particle-size distribution can be determined by sieving in accordance with TS EN 933-1. A gradation curve is prepared from the mass percentages passing the sieves, and the product is checked against the target grading envelope. Appropriate grading in concrete mixtures is related to workability and void structure, whereas in road layers it affects compactability and aggregate skeleton behavior. (Turkish Standards Institution, TS EN 933-1) (TS EN 933-1)

The flakiness index, particle shape, and percentage of crushed surfaces are particularly important in bituminous mixtures and granular road layers. Particle density, water absorption, fines content, and loose bulk density should also be assessed. Because these properties may be affected by crushing-screening plant settings and stockpile management, the source and process should be evaluated together.

2.3. Mechanical and Durability Tests

Resistance to fragmentation of aggregates is examined using methods such as the Los Angeles test under TS EN 1097-2. Measured values should be compared with the categories or specification limits applicable to the intended use. A general assumption that a rock type is hard

or durable cannot substitute for test results from a specific quarry. (Turkish Standards Institution, TS EN 1097-2) (TS EN 1097-2)

Durability factors such as freeze–thaw action, sulfate exposure, and wetting–drying cycles should be assessed in light of exposure conditions. Climate, drainage conditions in the application, and material pore structure can affect long-term performance. The testing program should avoid unnecessary repetition while ensuring that critical risks are not overlooked.

3. EVALUATION BY APPLICATION

For concrete aggregates, gradation, cleanliness, water absorption, particle shape, and chemical suitability should be evaluated together. TS 706 EN 12620 provides the principal product-standard framework for concrete aggregates. To achieve the target strength and durability of concrete, aggregate assessment must be carried out together with binder selection and mix design. (Turkish Standards Institution, TS 706 EN 12620) (TS 706 EN 12620)

For asphalt mixtures, polishing behavior, particle shape, and adhesion to bitumen are important alongside fragmentation and abrasion resistance. Product requirements under TS EN 13043 should be considered. For road base and subbase layers, gradation, compactability, durability, and compliance with application specifications are decisive. Not every fraction from the same quarry should be considered equally suitable for every application. (Turkish Standards Institution, TS EN 13043) (TS EN 13043)

Concrete, asphalt, and granular base applications require different performance conditions. A material found suitable for one use is not necessarily suitable for all other applications. Acceptance criteria must therefore be evaluated together with project specifications, product standards, and test reports.

3.1. Production Chain and Quality Control

The aggregate production chain may include quarry preparation, drilling and blasting or mechanical excavation, loading, crushing, screening, stockpiling, and dispatch. Changes in feed size affect crusher circuit loading and product distribution. Screen apertures, crusher settings, and recirculating flows should be monitored regularly. (Langer, 2011)

A quality-control cycle involving representative sampling, testing, comparison with specifications, stockpile segregation, and process adjustment when needed is recommended. Accumulation of fines, mixing of different fractions, and contamination by foreign material should be prevented in stockpiles. A documented quality monitoring system facilitates identification of the sources of variability.

During production, crusher settings, screen apertures, feed variability, and stockpile management may influence particle-size distribution. The purpose of quality control is not merely to detect nonconforming products but also to identify the production stage at which nonconformity arises and implement corrective action.

3.2. Environmental and Logistical Considerations

Quarry production plans should incorporate obligations relating to dust, noise, vibration, water use, surface runoff, and rehabilitation. Transport distance, traffic, and emissions should also be considered in source selection. The advantages of a local source cannot be generalized without accounting for technical suitability and environmental obligations. (Langer, 2011)

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Basaltic and carbonate rocks around Diyarbakır may be evaluated as aggregate raw materials, but their performance cannot be established from rock names alone. Lithology, petrographic texture, weathering, gradation, water absorption, and mechanical resistance data must be interpreted together. Because acceptance criteria differ for concrete, asphalt, and road layers, the intended application should guide the assessment.

It is recommended to establish a regional quarry inventory, implement source- and stockpile-based sampling programs, document standardized test results, and maintain continuous production quality control. Future research comparing lithologies and production circuits using laboratory data from local samples will strengthen the quantitative basis of assessment.
This review and methodological assessment contains no new laboratory measurements from Diyarbakır quarries. Therefore, it presents no definitive regional strength, abrasion, water absorption, or cost values. Future studies could combine representative field samples, standardized test results, and operational records to establish a comparative database.

THESIS ACKNOWLEDGMENT
*This study was prepared based on the Master's thesis entitled "*Determination of the Performance and Techno-Economic Analysis of Aggregates of Different Origins: The Case of Diyarbakır"* (Diyarbakır, Türkiye, 2026), completed by Talip AKYIL in the Department of Mining Engineering (General Geology), Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dicle University, under the supervision of Prof. Dr. Orhan KAVAK during the Fall Semester of the 2026–2027 academic year.

REFERENCES
TS 706 EN 12620. Aggregates for concrete (EN 12620). Turkish Standards Institution.
TS EN 933-1. Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method. Turkish Standards Institution.
TS EN 1097-2. Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation. Turkish Standards Institution.
TS EN 13043. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. Turkish Standards Institution.
U.S. Geological Survey (USGS). (2026). Mineral Commodity Summaries 2026: Crushed Stone. USGS.
Langer, W. H. (2011). Aggregate Resource Availability in the Conterminous United States, Including Suggestions for Addressing Shortages, Quality, and Environmental Concerns. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2011–1119. https://doi.org/10.3133/ofr20111119

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

TÜRK DIŞ POLİTİKASININ MEDYA YANSIMALARI: BAĞIMSIZLIK SÜRECİNDEKİ TÜRK CUMHURİYETLERİNİN TÜRKİYE BASININDA ELE ALINIŞI (1991-1993)

Yusuf Alper OYAR
Altınbaş Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler, Yüksek Lisans Öğrencisi, 34217 Bağcılar, İstanbul
ORCID ID: 0000-0002-0557-8253

ÖZET
Sovyetler Birliği'nin dağılma sürecinde 1991 yılında Azerbaycan, Özbekistan, Kırgızistan, Türkmenistan ve Kazakistan'ın bağımsızlıklarını ilan etmesi, Türk dış politikasında yeni bir dönem açmış ve Türkiye kamuoyunda geniş yankı bulmuştur. Bu çalışma, Türk Cumhuriyetlerinin 1991-1993 döneminde Türkiye basınında nasıl ele alındığını ve basının Türk dış politikasına ilişkin algıyı hangi söylemler üzerinden kurduğunu incelemektedir. Çalışmanın örneklemini, bahse konu dönemde Türkiye'de yayımlanan ve farklı siyasi eğilimleri temsil eden Cumhuriyet, Milliyet, Tercüman ve Türkiye gazetelerinin haberleri, manşetleri ve köşe yazıları oluşturmaktadır. Elde edilen veriler nitel içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, gazetelerin yakın oldukları siyasi eğilimlere göre Kafkasya'da ve Orta Asya'da bağımsızlığını ilan eden Türk devletlerinin ilk yıllarında dış politika bağlamında Türkiye ile ilişkilerine dair süreci farklı şekillerde okuduklarını göstermektedir. Tercüman ve Türkiye gazeteleri gibi milliyetçi-muhafazakâr çizgide yayın yapan basının, bağımsızlık sürecini coşkuyla takip ettiği ve Türk Cumhuriyetlerinin tanınması yönünde kamuoyu baskısı oluşturma çabasında olduğu tespit edilmiştir. 1991 yılının son aylarından 1992 yılının ilk yarısına kadar olan dönemde oldukça iyimser bir tutumla "Türk tarihi yeniden yazılıyor" ve "Adriyatik'ten Çin Seddi'ne" gibi manşetler atılmış, Türkiye, bağımsızlığını ilan eden devletler için "ağabey" (rol model) olarak nitelendirilmiştir. Fakat bağımsızlığını ilan eden Türk devletlerinin Rusya öncülüğündeki Bağımsız Devletler Topluluğu'na üye olması, 1992 Ankara Zirvesi'ndeki anlaşmazlıklar ve Azerbaycan-Ermenistan arasındaki Karabağ Savaşı'nın olumsuz sonuçları üzerine 1992 yılının ikinci yarısından itibaren coşkulu söylemlerin yerini daha itidalli bir söyleme bıraktığı görülmektedir. Sosyal demokrat ve merkez sol tandanslı Cumhuriyet ve Milliyet gazeteleri ise Türk devletlerinin bağımsızlıklarını ilan etmesine nispeten nötr yaklaşmıştır. Bu gazetelerde 1991 yılında zaman zaman iyimserliğe yakın haberler yayımlanmışsa da 1992 yılından itibaren eleştirel yaklaşımın ağırlık kazandığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, farklı siyasi çizgilerin farklı yaklaşımları olmakla birlikte 1991 yılında kamuoyunda yaşanan heyecanı yansıtan gazetelerin, dış politikada karşılaşılan jeopolitik gerçekliklerden sonra konuyu daha gerçekçi ve temkinli bir tutumla ele alma eğilimi gösterdikleri sonucuna varılmıştır.
Anahtar kelimeler: Türk Cumhuriyetleri, Türk Dış Politikası, Türkiye Basını, Türk Dünyası

MEDIA REFLECTIONS OF TURKISH FOREIGN POLICY: THE COVERAGE OF THE TURKIC REPUBLICS DURING THEIR INDEPENDENCE PROCESS IN THE TURKISH PRESS (1991-1993)

ABSTRACT
The declaration of independence by Azerbaijan, Uzbekistan, Kyrgyzstan, Turkmenistan, and Kazakhstan in 1991 during the dissolution of the Soviet Union ushered in a new era in Turkish foreign policy and resonated widely within the Turkish public. This study examines how the

Turkic Republics were covered in the Turkish press between 1991 and 1993, and through which discourses the press constructed the perception regarding Turkish foreign policy. The sample of the study consists of news reports, headlines, and columns from Cumhuriyet, Milliyet, Tercüman, and Türkiye newspapers, which were published in Turkey during the period in question and represent different political leanings. The obtained data were evaluated using the qualitative content analysis method. The findings indicate that, depending on their aligned political tendencies, newspapers interpreted the process differently concerning the foreign policy relations of the Turkic States, which declared independence in the Caucasus and Central Asia, with Turkey during their early years. It was determined that the nationalist-conservative press, such as Tercüman and Türkiye newspapers, followed the independence process with enthusiasm and attempted to create public pressure for the recognition of the Turkic Republics. During the period from the last months of 1991 to the first half of 1992, with a highly optimistic attitude, headlines such as "Turkish history is being rewritten" and "From the Adriatic to the Great Wall of China" were published, and Turkey was characterized as a "big brother" (role model) for the newly independent states. However, upon the newly independent Turkic states becoming members of the Russia-led Commonwealth of Independent States (CIS), the disagreements at the 1992 Ankara Summit, and the adverse outcomes of the Karabakh War between Azerbaijan and Armenia, it is observed that the enthusiastic discourses were replaced by a more restrained discourse starting from the second half of 1992. On the other hand, Cumhuriyet and Milliyet newspapers, with social democratic and center-left tendencies, approached the independence of the Turkic states relatively neutrally. Although news verging on optimism occasionally appeared in these newspapers in 1991, it is understood that a critical approach gained prominence from 1992 onwards. In conclusion, despite the differing approaches of various political lines, it was concluded that the newspapers, which initially reflected the public excitement in 1991, tended to handle the issue with a more realistic and cautious attitude after facing the geopolitical realities encountered in foreign policy.
Keywords: Turkic Republics, Turkish Foreign Policy, Turkish Press, Turkic World

1. GİRİŞ

Sovyetler Birliği'nin dağılma sürecinde 30 Ağustos 1991'de Azerbaycan, 31 Ağustos'ta Kırgızistan ve Özbekistan, 27 Ekim'de Türkmenistan ve 16 Aralık 1991'de Kazakistan bağımsızlıklarını ilan etmiştir. Soğuk Savaş boyunca güvenlik odaklı ve Batı eksenli bir dış politika izleyen Türkiye için bu gelişme, 1944-1991 yılları arasında karşıt bloklarda yer aldığı için doğrudan ilişki kuramadığı Türk dili konuşan ülkelerle ilk kez temas kurma imkânı anlamına gelmiştir (Amirbek vd., 2017). Türkiye bu devletlerin bağımsızlıklarını tanıyan ilk ülke olmuş ve 1992'den itibaren Türkçe Konuşan Ülkeler Devlet Başkanları Zirveleri ile kurumsal bir iş birliği süreci başlatılmıştır (Çetin ve Yurduğüzel, 2025).

Dış politika kararları kamuoyu tarafından medya aracılığıyla izlenmekte ve kamuoyunun tutumu karar alıcılar tarafından göz ardı edilememektedir (Hasanzadeh, 2025). Türk Cumhuriyetlerinin bağımsızlık süreci de bu açıdan dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır. Nitekim kamuoyu, uluslararası dengeler gerekçesiyle tereddüt eden hükümetler üzerinde bir baskı ve cesaretlendirme unsuru olmuş ve Türkiye tüm Türk Cumhuriyetlerini tanımıştır (Üçüncü, 2018). Bu bağlamda basının süreci hangi söylemlerle aktardığı Türk dış politikasının toplumsal algılanma biçimine ilişkin önemli bir veridir.

Bu çalışma, 1991-1993 döneminde Cumhuriyet, Milliyet, Tercüman ve Türkiye gazetelerinin

manşet, haber ve köşe yazılarını nitel içerik analizi yöntemiyle incelemektedir. Gazeteler, farklı siyasi eğilimleri temsil etmeleri gözetilerek seçilmiştir. Cumhuriyet ve Milliyet sosyal demokrat ve merkez sol çizgiyi, Tercüman ve Türkiye ise milliyetçi-muhafazakâr çizgiyi temsil etmektedir. Çalışmada gazete arşivinden derlenen birinci el manşetlerin yanı sıra dönemin basınını inceleyen ikincil literatürden de yararlanılmıştır. Makalede önce dönemin tarihsel arka planı özetlenmekte, ardından bulgular üç tematik eksende sunulmaktadır. Bunlar "21. Yüzyıl Türk Asrı Olacak" retoriği, Türkiye'nin rol model ve "ağabey" olarak algılanışı ile ilk hayal kırıklıkları sonrasında gerçekçi söyleme geçiş temalarıdır.

2. TARİHSEL ARKA PLAN: BAĞIMSIZLIKLAR VE TÜRKİYE'NİN TUTUMU

Türk basınının Sovyet coğrafyasındaki Türklere ilgisi 1991'den önce de mevcut olmakla birlikte sınırlı kalmıştır. 1987-1991 döneminde Türk basınında en fazla haber ağırlığı Baltık cumhuriyetlerinde olmuş, Orta Asya Türk cumhuriyetlerindeki gelişmeler ise daha az haber değeri taşımış ve basında sınırlı yer bulmuştur (Kara, 2023). Türk basını bu dönemde haberlerini büyük ölçüde TASS, Pravda ve İzvestia gibi Sovyet kaynaklarından derlemek durumunda kalmıştır (Kara, 2023). Türk basını dağılma sürecine başlangıçta temkinli yaklaşmış, Azerbaycan'a yönelik Sovyet müdahalesi bir dönüm noktası oluşturmuş ve dağılma kesinleştikten sonra basın tavrını daha net biçimde ortaya koymaya başlamıştır (Kurt, 2013).

Bağımsızlık ilanlarının ardından Türkiye'nin tanıma konusunda hemen harekete geçmemesi, Türk kamuoyunda tepkiyle karşılanmıştır. Türkiye gazetesi 1 Eylül 1991'de vatandaşların Azerbaycan'ın bir an evvel tanınması yönündeki taleplerini sayfalarına taşımış, Tercüman ise 6 Eylül'de hükümete bu yönde baskı kurmuştur (Üçüncü, 2018). Buna karşılık Cumhuriyet gazetesinde Yasemin Çongar imzasıyla yayımlanan bir yorumda Ankara'nın Azerbaycan politikasını temkinli kılan beş unsur Pantürkizm, radikal İslam, Moskova, Ermenistan ve iç çekişme olarak sıralanmıştır (Üçüncü, 2018). Bu farklılaşma, daha bağımsızlık ilanlarının ilk haftalarında gazetelerin siyasi çizgilerine göre konuya nasıl farklı yaklaştıklarını göstermektedir.

Türkiye, Azerbaycan'ı 9 Kasım 1991'de, diğer dört Türk Cumhuriyetini ise 16 Aralık 1991'de tanımıştır (Hasanzadeh, 2025). Milliyet, 17 Aralık 1991'de Bakanlar Kurulu'nun Sovyetler'de kurulan cumhuriyetlerin tanınmasını kabul ettiğini manşetten duyurmuştur ("Sovyet cumhuriyetleri tanınıyor", 1991). Ancak aynı günlerde Türk Cumhuriyetlerinin Rusya öncülüğündeki Bağımsız Devletler Topluluğu'na (BDT) katılması, basında ilk tereddütlerin de görülmesine yol açmıştır. Milliyet 12 Aralık 1991'de "Sovyetlerde Sürpriz Gelişme: Türkler Slavlara Katılıyor" başlığıyla Kazakistan'ın BDT'ye katılımını duyurmuş ("Türkler Slavlara katılıyor", 1991), 22 Aralık'ta ise Alma Ata'da diğer Türk cumhuriyetlerinin de topluluğa katılmayı kararlaştırdığını bildirmiştir ("Sovyetler son", 1991). Sovyetler Birliği'nin dağılması eski cumhuriyetlerin Moskova'nın etki alanından derhal çıkmaları olarak değerlendirilmemelidir, zira Rusya Federasyonu'nun BDT çerçevesinde denetimi kısmen de olsa sürmüştür (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 1995).

3. BULGULAR

3.1. "21. Yüzyıl Türk Asrı Olacak": Coşku Dönemi (1991 Sonu-1992 İlk Yarısı)

Bağımsızlık ilanlarının Türk kamuoyunda büyük sevinç ve umut yarattığı ve bu durumun Türk birliği düşüncesinin yeniden canlanmasını beraberinde getirdiği görülmektedir. 21. asrın Türk yüzyılı olacağı teması kahvehanelerden üniversite kürsülerine kadar büyük umut uyandırmış ve basının büyük çoğunluğu bu düşünceyi kuvvetlendiren haberler yayımlamıştır (Üçüncü, 2018). Bu söylem siyasi liderlerin açıklamalarıyla da beslenmiştir. Başbakan Süleyman Demirel

"Adriyatik'ten Çin Seddi'ne Türk Dünyası" sloganını sık sık kullanırken Cumhurbaşkanı Turgut Özal konuşmalarında "21. Yüzyıl Türklerin Yüzyılı" olacak ifadesine yer vermiştir (Hasanzadeh, 2025).

Milliyetçi-muhafazakâr basın bu söylemin en coşkulu taşıyıcısı olmuştur. Türkiye gazetesi 3 Eylül 1991'de "Sovyet ittifakından kopan Türk cumhuriyetleri, milletimizin geleceğine yeni ufuklar açıyor, Türk tarihi yeniden yazılıyor" manşetini atmıştır (Üçüncü, 2018). Aynı gazete 25 Eylül 1991'de "İstikbal Türklerin" başlığını kullanmış ("İstikbal Türklerin", 1991), Tercüman ise 5 Eylül 1991'de "Türk'e Kefen Biçilemez" manşetiyle bağımsızlık sürecini millî bir diriliş olarak sunmuştur ("Türk'e kefen biçilemez", 1991). Tercüman yazarı Bahattin Dökme'nin Kasım 1991'de Türk Cumhuriyetlerinin tanınması ve ortak alfabe konularında ardı ardına yazdığı yazılar da bu gazetenin konuyu bir kamuoyu baskısı oluşturma aracı olarak ele aldığını göstermektedir (Dökme, 1991a, 1991b).

Merkez sol basında ise aynı dönemde daha temkinli fakat zaman zaman iyimserliğe yaklaşan bir tutum izlenmektedir. Milliyet, 26 Ekim 1991'de "Sovyetler'deki Türk Cumhuriyetleri Yardım Bekliyor" başlığıyla Türk cumhuriyetlerinin Ankara'dan beklentilerini aktarmış ("Sovyetler'deki Türk cumhuriyetleri yardım bekliyor", 1991), 18 Ocak 1992'de "Türk Çıkarması: İşadamları Kazakistan'a Akın Etti" manşetiyle ekonomik açılımı öne çıkarmıştır ("Türk çıkarması", 1992). Cumhuriyet'in 24 Şubat 1992 tarihli "Demirel: Adriyatik'ten Çin'e Türkiye" manşeti, Başbakan'ın Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla Türkiye'nin büyüdüğü ve bir ucunun Adriyatik diğer ucunun Çin Seddi'nde olduğu yönündeki sözlerini aktarmaktadır ("Demirel: Adriyatik'ten Çin'e Türkiye", 1992). Ancak Cumhuriyet'in bu söylemi benimsemekten ziyade haberleştirdiği, aynı gazetenin 15 Aralık 1991'de "Orta Asya'da Neo-Turancılar" başlığıyla Kazakistan'da Pantürkizmin yeniden canlandığını Sovyet yönetimine bir tepki biçimi olarak sunmasından anlaşılmaktadır ("Orta Asya'da neo-Turancılar", 1991). Nitekim Cumhuriyet, okurlarına Turan fikrinin Enver Paşa'nın ütopyası olduğu ve Türk Cumhuriyetleri yöneticileri arasında karşılığının bulunmadığı görüşünü yaymıştır (Üçüncü, 2018).

Bu dönemde basının dış dünyanın Türkiye'ye bakışını da coşkuyu besleyecek biçimde aktardığı görülmektedir. Milliyet 26 Şubat 1992'de bir Fransız dergisinin Türkiye için "Yeni Osmanlı İmparatorluğu" ifadesini kullandığını ve Ankara'nın Orta Asya cumhuriyetleri için muhatap olduğunu yazdığını haberleştirmiştir ("Yeni Osmanlı İmparatorluğu", 1992). Türk basını bu dönemde yabancı basının ve uzmanların süreci nasıl değerlendirdiğine ilişkin haberlere geniş yer vermiş ve İngiliz Sunday Telegraph'ın "Türkiye bölgede gücün anahtarını elinde tutuyor" başlıklı haberi Türk basınına yansımıştır (Hasanzadeh, 2025).

3.2. Rol Model ve "Ağabey" Türkiye Algısı

İncelenen dönemde basının Türkiye'yi bağımsızlığını yeni kazanan devletler için laik, demokratik ve piyasa ekonomisine dayalı bir model olarak konumlandırdığı görülmektedir. Bu algının bizzat Türk Cumhuriyetleri liderlerinin açıklamalarıyla pekiştirildiği dikkat çekmektedir. Cumhuriyet, 16 Aralık 1991'de Kazakistan Devlet Başkanı Nazarbayev'in gazeteye verdiği demeci "Nazarbayev: Model Türkiye" başlığıyla yayımlamış ve Nazarbayev'in Türkiye'yi ekonomik model olarak aldıklarını söylediğini aktarmıştır ("Nazarbayev: Model Türkiye", 1991). Cumhuriyet muhabiri Fatih Yılmaz'ın Aralık 1991'de yayımlanan Orta Asya yazı dizisinde de Nazarbayev ve Akayev'in serbest ekonomi ve laik yaşam arzusunda en önemli modelin Türkiye olduğu düşüncesi öne çıkarılmıştır (Üçüncü, 2018). Aynı günlerde Dışişleri

Bakanı Hikmet Çetin, Cumhuriyet için kaleme aldığı yazıda Türk Cumhuriyetleriyle karşılıklı saygı içinde iş birliğini geliştirmeyi tarihî bir sorumluluk olarak nitelendirmiştir (Çetin, 1991). "Ağabey" söylemi ise özellikle Türkiye gazetesi ve Milliyet'te belirgindir. Türkiye gazetesi 23 Aralık 1991'de "Özbekistan Türkiye'den Ağabeylik Bekliyor" ("Özbekistan Türkiye'den ağabeylik bekliyor", 1991), 28 Aralık 1991'de ise "Türkiye Bize Yol Gösteriyor" ("Türkiye bize yol gösteriyor", 1991) başlıklarını kullanmıştır. Milliyet, 3 Şubat 1992'de Davos'ta Demirel ile Orta Asya liderlerinin buluşmasını "Süleyman Ağabeye Teşekkür" manşetiyle vermiştir ("Süleyman Ağabeye teşekkür", 1992). Özbekistan Cumhurbaşkanı Kerimov'un Aralık 1991'deki Ankara ziyaretinde Demirel'e "ağabey" diye hitap etmesi ve Davos'ta "Süleyman Demirel Ağabey'e teşekkür ederim" ifadelerini kullanması Türk basınında geniş yer bulmuştur (Hasanzadeh, 2025). Milliyet'in 1 Mayıs 1992 tarihli "Demirel: Türkiye ve Türk bayrağı herkesindir, Orta Asya'ya anayasa" manşeti ise Başbakan'ın Türk cumhuriyetleri liderlerine taslak anayasa verdiğini bildirmekte ve ağabeylik algısının somut bir siyasi içeriğe kavuştuğunu göstermektedir ("Demirel: Türkiye ve Türk bayrağı herkesindir", 1992).

Bununla birlikte merkez sol basın, rol model söylemini aktarırken bu söylemin sınırlarına da işaret etmiştir. Cumhuriyet'in 16 Şubat 1992 tarihli "Orta Asya laf değil iş bekliyor" manşeti, Türk modelinin uygulanması konusunu söylemden çok somut adımlar beklentisiyle gündeme getirmiştir ("Orta Asya laf değil iş bekliyor", 1992). Milliyet de 17 Şubat 1992'de Özal'ın Tahran temaslarını "Dostluk ve Rekabet" başlığıyla vererek Orta Asya konusunda Türkiye-İran rekabetine dikkat çekmiştir ("Özal'ın Orta Asya temasları", 1992). Bernard Lewis, Kasım 1991'de Türk basınına verdiği röportajda Türk Cumhuriyetlerinin ağabeye değil kardeşe ihtiyacı olduğunu söylemiş, ABD'nin Ankara Büyükelçisi Abramowitz ise Şubat 1992'de "Türkiye'nin kaderi Orta Asya değildir" diyerek model rolünün Türkiye'nin Batı ile entegrasyon hedefinden sapmaya yol açmaması gerektiğini vurgulamıştır (Hasanzadeh, 2025). Bu uyarıların basına yansıması, rol model algısının daha ilk aylardan itibaren tartışmalı bir zemin üzerinde durduğunu göstermektedir.

3.3. İlk Hayal Kırıklıkları ve Gerçekçi Söyleme Geçiş (1992 İkinci Yarısı-1993)

1992 yılının ortalarından itibaren basında coşkulu söylemin yerini giderek temkinli ve eleştirel bir dile bıraktığı tespit edilmektedir. Bu dönüşümün üç gelişmeyle ilişkili olduğu görülmektedir. Bunlar Karabağ Savaşı'nın seyri, Türk Cumhuriyetlerinin Rusya ile bağlarını sürdürmesi ve 1992 Ankara Zirvesi'nde yaşanan anlaşmazlıklardır.

Karabağ Savaşı, Türk kamuoyu ve medyasının bu dönemde en çok takip ettiği mesele olmuş ve Azerbaycan'ın diğer Türk Cumhuriyetlerine nazaran ön plana çıkmasına sebep olmuştur (Hasanzadeh, 2025). Cumhuriyet, 12 Mayıs 1992'de "Ermenistan Karabağ'ı yuttu" manşetiyle Şuşa'nın düştüğünü duyurmuş ("Ermenistan Karabağ'ı yuttu", 1992), Milliyet ise 20 Mayıs 1992'de "Türk-Rus savaşı mı?" başlığı altında Ermenistan'ın saldırısına Rusya'nın seyirci kalması üzerine başlayan tartışmaları ve Nahçıvan sınırındaki askerî hareketliliği aktarmıştır ("Türk-Rus savaşı mı?", 1992). Savaşın 1993'teki seyri basındaki dili daha da sertleştirmiş ancak bu sertlik Türkiye'nin gücüne ilişkin iyimserlikten ziyade sınırlarına ilişkin bir farkındalıkla birleşmiştir. Cumhuriyet 8 Nisan 1993'te "Gündem askeri seçenek" başlığıyla Ankara'nın diplomatik girişimlere öncelik verirken askerî seçeneği de göz ardı etmediğini yazmıştır ("Gündem askeri seçenek", 1993). Milliyet aynı günlerde bir ABD raporuna dayanarak olası bir Türk-Rus savaşında NATO'nun seyirci kalacağını ve Elçibey'in Türkiye'den istediği helikopterleri alamadığı için kırgın olduğunu haberleştirmiştir ("Türk-Rus savaşında

NATO seyirci kalacak", 1993). Bu haberler, 1991'de "ağabey" olarak sunulan Türkiye'nin kardeş ülkeye beklenen desteği veremediği algısının basına yansımasıdır. Ocak 1993'te Rusya'nın Yakın Çevre Doktrini'ni gündeme getirmesiyle birlikte Azerbaycan'a karşı daha katı davranması ve Ermenistan'ı saldırıları için teşvik etmesi, Türk basınının Rusya faktörüne ilişkin gerçekçi değerlendirmelerinin arka planını oluşturmaktadır (Kurban vd., 2018).

Türk Cumhuriyetlerinin Rusya ile bağlarını koparmaması da basının söylemini etkilemiştir. Milliyet, 20 Haziran 1992'de İstanbul'da toplanan Türk cumhuriyetleri kültür bakanlarının Rusça iletişim kurduğunu "Türk bakanlar Rusça anlaştı" başlığıyla ironik bir dille vermiştir ("Türk bakanlar Rusça anlaştı", 1992). 6 Ekim 1992'de ise Kırgızistan'daki Türk Cumhuriyetleri Millî Eğitim Bakanları Konferansı'nda yaşanan KKTC krizi "Orta Asya'da fiyasko" ve "Türk 'kardeşler' KKTC yüzünden Ankara'ya tavır koydu" başlıklarıyla duyurulmuştur ("Orta Asya'da fiyasko", 1992). "Kardeşler" ifadesinin tırnak içine alınması, kardeşlik söylemine yönelik eleştirel mesafeyi göstermesi bakımından dikkat çekicidir. Başlangıçta Türkiye'ye büyük ilgi oluşmuş ancak Kafkasya'daki olumsuz gelişmeler ile başlangıç temaslarında önemli gelişmelerin sağlanamaması Türkiye'ye olan ilgiyi olumsuz etkilemiş ve Türkiye'nin bölge ülkeleri üzerindeki etkisini belirgin şekilde azaltmıştır (DPT, 1995).

Bu dönüşümün en belirgin göstergesi 30-31 Ekim 1992'de Ankara'da düzenlenen ilk Türkçe Konuşan Ülkeler Devlet Başkanları Zirvesi'ne ilişkin haberlerdir. Türkiye'nin bu zirveden beklentisi yüksek olmuş ve zirve sonunda imzalanması için özel bir bildiri hazırlanmıştır (Amirbek vd., 2017). Özal zirvede Türk dünyasının ortak pazarını oluşturmayı teklif etmiş ancak Nazarbayev böyle bir iş birliğinin BDT karşısındaki sorumluluklara halel getireceği endişesini dile getirmiş ve etnik, kültürel ve siyasi bir örgütün halkları yakınlaştırmak yerine uzaklaştıracağını söylemiştir (İnci, 2020). Milliyet, 31 Ekim 1992'de "Zirvede sıkıntı" manşetiyle Türk Ortak Pazarı önerisinin erken bulunduğunu ve Karabağ konusunda anlaşmazlık çıktığını haberleştirmiştir ("Zirvede sıkıntı", 1992). Bu manşet, bir yıl önce "Türk tarihi yeniden yazılıyor" diyen söylemle çarpıcı bir karşıtlık oluşturmaktadır. Türkiye 1990'ların ilk yıllarında aceleci davranarak planlı ve rasyonel bir dış politika izlemek yerine nostaljik ve hissi bir yaklaşıma dayalı politika izlemiş, Ankara Zirvesi ile ortaya çıkan gerçekçi tablo ise entegrasyonun bir anda kurulamayacağını göstermiştir (Amirbek vd., 2017). Zirvede sonuç bildirgesinin önceden diğer başkentlere gönderilmemesi nedeniyle görüş ayrılıkları yaşanmış ve birkaç yıl içinde Türkiye'nin bölgedeki rolüne ilişkin abartılı coşku yerini abartılı bir hayal kırıklığına bırakmıştır (İnci, 2020).

1993 yılına gelindiğinde basındaki dilin belirgin biçimde rasyonelleştiği görülmektedir. Milliyet, 4 Nisan 1993'te Özal'ın Türk cumhuriyetleri gezisini coşkulu bir dille değil "Türk dış politikasında önemli bir hamle" olarak nitelendirmiştir ("Özal'ın Orta Asya çıkarması", 1993). Cumhuriyet ise 25 Nisan 1992'de "Halklar mozayiği bozulacak mı?" başlığıyla Türk kökenli cumhuriyetlerde milliyetçilik ve İslamcılık akımlarının siyasi istikrarı tehdit ettiğini yazmış ("Orta Asya Türk cumhuriyetleri", 1992), 4 Kasım 1993'te Diyanet İşleri Başkanı'nın Türk Cumhuriyetlerinde Hristiyanlık propagandası yapıldığı yönündeki açıklamasını "İslam dini dışlanıyor" başlığıyla aktarmıştır ("İslam dini dışlanıyor", 1993). Bu haberler, basının bölgeyi artık tek parça bir "Türk dünyası" olarak değil kendi iç dinamikleri ve sorunları olan devletler olarak ele almaya başladığını göstermektedir. Nitekim 1990'ların koalisyon hükümetleri ve iç çekişmeleri ile yeni devletlerin Rusya'dan çekinmeleri tarafları duygusal politikalardan çok realist politikalara yöneltmiş ve Türk dış politikası post-Sovyet dönem öncesinde olduğu gibi

Batı Bloku içindeki konumunu korumuştur (İnci, 2020).

4. SONUÇ

Bu çalışma, 1991-1993 döneminde Türkiye basınının Türk Cumhuriyetlerini ele alış biçiminin hem gazetelerin siyasi çizgisine hem de dış politikada karşılaşılan gerçekliklere bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Milliyetçi-muhafazakâr çizgideki Tercüman ve Türkiye gazeteleri bağımsızlık sürecini millî bir diriliş olarak sunmuş, tanınma yönünde kamuoyu baskısı oluşturmuş ve "Türk tarihi yeniden yazılıyor", "İstikbal Türklerin", "Türkiye bize yol gösteriyor" gibi başlıklarla Türkiye'yi Türk dünyasının ağabeyi olarak konumlandırmıştır. Merkez sol çizgideki Cumhuriyet ve Milliyet ise bağımsızlık ilanlarına nispeten nötr yaklaşmış, 1991 sonunda liderlerin "Model Türkiye" açıklamalarını ve ekonomik açılımı iyimser bir dille haberleştirmekle birlikte Pantürkizm ve köktencilik gibi riskleri de daha ilk günden gündeme getirmiştir.

1992'nin ikinci yarısından itibaren ise bütün gazetelerde söylemin ortaklaştığı görülmektedir. Türk Cumhuriyetlerinin BDT üyeliğini sürdürmesi, Ankara Zirvesi'nde ortak pazar önerisinin kabul görmemesi ve Karabağ Savaşı'nda Türkiye'nin Azerbaycan'a beklenen desteği verememesi, basında "Zirvede sıkıntı", "Orta Asya'da fiyasko" ve "Elçibey Türkiye'ye kırgın" gibi başlıklarla yansımasını bulmuştur. Türkiye'nin bölgede yaşadığı hayal kırıklıkları büyük ölçüde ilk günlerdeki ölçüsüz beklentilerin sonucudur (Yaldız, 2018). Basının 1993'te konuyu Türk dış politikasının rasyonel bir hamlesi olarak ve bölge devletlerinin iç dinamiklerini gözeterek ele almaya başlaması, bu farkındalığın medyaya yansımasıdır.

Sonuç olarak, incelenen dönemde basının Türk dış politikasına ilişkin algıyı önce coşku ve ağabeylik, ardından gerçekçilik ve temkin söylemleri üzerinden kurduğu söylenebilir. Bu dönüşüm, Türk dış politikasında ideolojiden çok pragmatizmin belirleyici olduğu yönündeki tespitle örtüşmektedir (Yıldız, 2025). Türkiye ile Türk Cumhuriyetleri arasındaki iş birliği sonraki yıllarda kurumsallaşmıştır (Çetin ve Yurduğüzel, 2025). 1991-1993 döneminin basın söylemi, bu kurumsallaşmanın hangi beklentiler ve hayal kırıklıkları üzerine inşa edildiğini anlamak bakımından önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Amirbek, A., Anuarbekuly, A. ve Makhanov, K. (2017). Türk dili konuşan ülkeler entegrasyonu: Tarihsel geçmişi ve kurumsallaşması. *Bölgesel Araştırmalar Dergisi, 1*(3), 164-204.
Çetin, H. (1991, 16 Aralık). Orta Asya'ya kültür köprüsü. *Cumhuriyet*, s. 1.
Çetin, N. ve Yurduğüzel, Ö. (2025). Türk Devletleri Teşkilatı'nın kuruluş ve gelişmesinde Türkiye'nin rolü. *Avrasya Etüdleri, 31*(64), 121-160.
Demirel: Adriyatik'ten Çin'e Türkiye. (1992, 24 Şubat). *Cumhuriyet*, s. 1.
Demirel: Türkiye ve Türk bayrağı herkesindir, Orta Asya'ya anayasa. (1992, 1 Mayıs). *Milliyet*, s. 1.
Devlet Planlama Teşkilatı. (1995). *Dünyada küreselleşme ve bölgesel entegrasyonlar (AT, NAFTA, Pasifik) ve Türkiye (AT, EFTA, KEİ, Türk Cumhuriyetleri, İslam ülkeleri, ECO) ilişkileri özel ihtisas komisyonu: Türkiye-Türk Cumhuriyetleri ilişkileri raporu özeti* (Yayın No. DPT: 2410, ÖİK: 471). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı.
Dökme, B. (1991a, 6 Kasım). Türk Cumhuriyetlerinin tanınması. *Tercüman*, s. 12.
Dökme, B. (1991b, 27 Kasım). Ortak alfabe. *Tercüman*, s. 12.
Ermenistan Karabağ'ı yuttu. (1992, 12 Mayıs). *Cumhuriyet*, s. 1.
Gündem askeri seçenek: Ankara değerlendiriyor. (1993, 8 Nisan). *Cumhuriyet*, s. 1.
Hasanzadeh, V. (2025). Türk Cumhuriyetlerinin bağımsızlıklarının Türk kamuoyu ve medyasına

yansıması ve Türk dış politikasına etkisi. *Küresel Politika Çalışmaları Dergisi, 2*(1), 33-57. https://doi.org/10.29329/kurepol.2025.1302.3
İnci, H. (2020). *Sovyetler Birliği'nin dağılması sonrası kurulan Türk Cumhuriyetlerinin Türk dış politikasına etkisi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
İslam dini dışlanıyor. (1993, 4 Kasım). *Cumhuriyet*, s. 1.
İstikbal Türklerin. (1991, 25 Eylül). *Türkiye*, s. 1.
Kara, K. (2023). *Sovyetler Birliğinin dağılış sürecinin Türk yazılı basına yansıması (1987-1991)* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
Kurban, V., Aslanlı, A., Musayev, G. ve Caferov, N. (2018). Azerbaycan. A. Ç. Yaldız ve M. Yılmaz (Ed.), *Bağımsızlıklarının yirmi yedinci yılında Türk Cumhuriyetleri* içinde (ss. 39-118). Ahmet Yesevi Üniversitesi.
Kurt, H. (2013). *Türk Cumhuriyetleri'nin bağımsızlık süreci ve Türk basınına yansımaları (1985-1993)* [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
Nazarbayev: Model Türkiye. (1991, 16 Aralık). *Cumhuriyet*, s. 1.
Orta Asya laf değil iş bekliyor. (1992, 16 Şubat). *Cumhuriyet*, s. 1.
Orta Asya Türk cumhuriyetleri: Halklar mozayiği bozulacak mı? (1992, 25 Nisan). *Cumhuriyet*, s. 1.
Orta Asya'da fiyasko. (1992, 6 Ekim). *Milliyet*, s. 1.
Orta Asya'da neo-Turancılar. (1991, 15 Aralık). *Cumhuriyet*, s. 1.
Özal'ın Orta Asya çıkarması. (1993, 4 Nisan). *Milliyet*, s. 1.
Özal'ın Orta Asya temasları: Dostluk ve rekabet. (1992, 17 Şubat). *Milliyet*, s. 1.
Özbekistan Türkiye'den ağabeylik bekliyor. (1991, 23 Aralık). *Türkiye*, s. 5.
Sovyet cumhuriyetleri tanınıyor. (1991, 17 Aralık). *Milliyet*, s. 1.
Sovyetler son: Yeni birlik anlaşması imzalandı. (1991, 22 Aralık). *Milliyet*, s. 1.
Sovyetler'deki Türk cumhuriyetleri yardım bekliyor. (1991, 26 Ekim). *Milliyet*, s. 1.
Süleyman Ağabeye teşekkür. (1992, 3 Şubat). *Milliyet*, s. 1.
Türk bakanlar Rusça anlaştı. (1992, 20 Haziran). *Milliyet*, s. 1.
Türk çıkarması: İşadamları Kazakistan'a akın etti. (1992, 18 Ocak). *Milliyet*, s. 1.
Türk'e kefen biçilemez. (1991, 5 Eylül). *Tercüman*, s. 1, 8.
Türkiye bize yol gösteriyor. (1991, 28 Aralık). *Türkiye*, s. 5.
Türkler Slavlara katılıyor. (1991, 12 Aralık). *Milliyet*, s. 1.
Türk-Rus savaşı mı? (1992, 20 Mayıs). *Milliyet*, s. 1.
Türk-Rus savaşında NATO seyirci kalacak. (1993, 12 Nisan). *Milliyet*, s. 1.
Üçüncü, U. (2018). Türk Cumhuriyetlerinin bağımsızlıklarının Türk kamuoyunda yankıları. M. A. Kireçci (Ed.), *Türk Cumhuriyetlerinde bağımsızlık ve devlet inşa süreci* içinde (ss. 551-584). Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Türk-Kazak Üniversitesi.
Yaldız, F. (2018). 27. yılında Türkiye'nin Türk Cumhuriyetleri ile ilişkileri: Kurumların rolü. A. Ç. Yaldız ve M. Yılmaz (Ed.), *Bağımsızlıklarının yirmi yedinci yılında Türk Cumhuriyetleri* içinde (ss. 21-38). Ahmet Yesevi Üniversitesi.
Yeni Osmanlı İmparatorluğu. (1992, 26 Şubat). *Milliyet*, s. 1.
Yıldız, M. (2025). Türk dış politikasının esasları: Tarihsel süreçte konjonktürel değişimler. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 12*(1), 101-120. https://doi.org/10.34086/rteusbe.1681501
Zirvede sıkıntı: 6 Türk cumhurbaşkanı Ankara'da tarihi toplantıda. (1992, 31 Ekim). *Milliyet*, s. 1.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNİN EBEVEYNLERİNİN DİSLEKSİYE İLİŞKİN BİLGİ DÜZEYLERİNİN ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ[2]

Esen GÜL
ORCID ID: 0009-0003-2258-836X
Elanur TAVUKÇU
ORCID ID: 0009-0009-1472-8848
Fatma İrem ULUKÖK
ORCID ID: 0009-0004-0289-5570
Prof. Dr. Fatma Elif ERGİN
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü, Ankara
ORCID ID: 0000-0001-8372-5047

ÖZET
Disleksi, okuma, yazma ve heceleme becerilerinde yaşanan güçlüklerle karakterize edilen bir öğrenme güçlüğüdür ve çocukların akademik başarı, özgüven ile sosyal-duygusal gelişim alanlarını etkilemektedir. Erken dönemde fark edilmediğinde uygun desteğe erişimde gecikmeler yaşanabilmektedir. Bu araştırma, ilkokul öğrencilerinin ebeveynlerinin disleksiye ilişkin bilgi düzeylerini belirlemek ve bilgi puanlarının sosyodemografik değişkenler açısından farklılaşıp farklılaşmadığını incelemek amacı ile yürütülmüştür. Nicel araştırma desenlerinden tarama modelinde yürütülen araştırmaya Ankara'da ulaşılan 353 gönüllü ebeveyn katılmıştır. Araştırma verileri "Kişisel Bilgi Formu" ve "Disleksi Bilgi ve İnanç Ölçeği" kullanılarak toplanmışır. Çalışmadan toplanan veriler için analizler IBM *SPSS* Statistics paket programı kullanılarak yapılmıştır. Normallik testi sonucunda dağılımın normal dağılım olmadığı bulunduğundan non-parametrik testler kullanılmıştır. Bulgular incelendiğinde katılımcıların ortalama puanı 15,08 (SS = 7,73), doğru yanıt oranı %41,9 ve KR-20 iç tutarlılık katsayısı 0,905 olarak saptanmıştır. Çalışan ebeveynlerin ortalama puanı, çalışmayan ebeveynlerin puanından anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Eğitim durumu ve gelir gruplarına göre anlamlı farklar bulunurken; cinsiyet değişkeni açısından anlamlı fark bulunmamıştır. Katılımcıların %71,4'ü disleksinin görsel algı eksikliğinden kaynaklandığına, %65,4'ü harf ters çevirmenin temel belirti olduğuna ilişkin maddelere yanlış yanıt vermiştir; "bilmiyorum" yanıtları ise görülme sıklığı, beyin işlevleri ve çok duyulu öğretim maddelerinde yoğunlaşmıştır. Araştırma bulguları, ebeveynlerin disleksinin özellikleri, nedenleri ve eğitimsel destek yöntemleri hakkında hem yanlış inanışlara hem de bilgi eksikliklerine sahip olabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, ebeveynlerin disleksiyi daha iyi anlamalarına ve çocuklarını desteklemelerine yardımcı olacak açık, güvenilir ve kolay ulaşılabilir bilgiler sunmanın önemini ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Disleksi, ebeveyn bilgi düzeyi, ilkokul öğrencileri.

[2] Bu çalışma, TÜBİTAK BİDEB tarafından **2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı** kapsamında desteklenmiştir. Projenin başlığı "İlkokul Öğrencilerinin Ebeveynlerinin Disleksiye İlişkin Farkındalık ve Bilgi Düzeylerinin Çeşitli Değişkenlere Göre İncelenmesi"dir.

EXAMINATION OF PARENTS' AWARENESS AND KNOWLEDGE OF DYSLEXIA AMONG PRIMARY SCHOOL STUDENTS IN RELATION TO VARIOUS VARIABLES[3]

ABSTRACT

Dyslexia is a learning difficulty characterized by difficulties in reading, writing, and spelling, which may affect children's academic achievement, self-confidence, and socio-emotional development. When dyslexia is not identified at an early stage, access to appropriate support may be delayed. This study aimed to assess dyslexia-related knowledge among parents of primary school students and to examine whether their knowledge scores differed according to sociodemographic characteristics. Employing a quantitative survey design, the study included 353 volunteer parents recruited in Ankara, Türkiye. Data were collected using the Personal Information Form and the Dyslexia Knowledge and Beliefs Scale. Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics. As the normality test indicated that the data did not follow a normal distribution, nonparametric statistical tests were employed.

The findings revealed a mean knowledge score of 15.08 (SD = 7.73), an overall correct-response rate of 41.9%, and a Kuder–Richardson Formula 20 (KR-20) internal consistency coefficient of 0.905. Employed parents demonstrated significantly higher mean knowledge scores than non-employed parents. Statistically significant differences were identified across educational attainment and income groups, whereas no significant difference was found according to gender. Item-level analyses revealed that 71.4% of participants responded incorrectly to an item concerning the misconception that dyslexia results from visual perception deficits, while 65.4% incorrectly answered an item suggesting that letter reversal is a defining characteristic of dyslexia. Responses indicating uncertainty ("I don't know") were particularly frequent for items addressing the prevalence of dyslexia, brain functions, and multisensory teaching methods.

The findings suggest that parents have both misconceptions and gaps in their knowledge about dyslexia, particularly regarding its characteristics, causes, and available educational support. These results highlight the importance of providing parents with clear, reliable, and accessible information to help them better understand dyslexia and support their children.

Keywords: Dyslexia, parental knowledge, primary school students.

1. GİRİŞ

Öğrenme güçlüğü, çocuğun duygusal ya da davranışsal sorunlarına bağlı olarak ortaya çıkmayan; okul yıllarında belirginleşen ve normal ya da normalin üstünde bir zekâya sahip olunmasına karşın okuma-yazma ile matematik becerilerinde yaşanan güçlükle kendini gösteren bir durum olarak tanımlanmaktadır (Doğan, 2018'den akt. Kadan, 2022). Ruhsal Bozuklukların Tanısı ve İstatistiksel El Kitabı, öğrenme güçlüğü tanısında; gerekli girişimlerde bulunulmuş olmasına karşın en az altı aydır süren sözcük okuma güçlükleri, okuduğunu anlamada yaşanan zorluklar, harf harf söyleme-yazma ve yazılı anlatım güçlükleri ile sayı algısı, sayı gerçekleri ve hesaplamaya ilişkin sorunları içeren tanı ölçütleri belirlemiştir (Köroğlu, 2018'den akt. Kadan, 2022). Okuma, matematiksel mantık, yazılı ve sözlü anlatım becerileri ile aritmetiksel hesaplamalarda problemlerle kendini gösteren özgül öğrenme

[3] This study was supported by TÜBİTAK BİDEB under the 2209-A University Students Research Projects Support Program.

güçlüğünün üç alt alanı bulunmaktadır: disleksi (okuma güçlüğü), diskalkuli (matematik güçlüğü) ve disgrafi (yazılı anlatım güçlüğü) (akt. Zengin ve Öksüz, 2022). Bu araştırmanın konusunu oluşturan disleksi, özgül öğrenme güçlüğünün okuma becerisini etkileyen türüdür.
Uluslararası Disleksi Derneği'ne göre disleksi, nörolojik kökenli bir özel öğrenme güçlüğüdür; doğru ve/veya akıcı kelime tanımada yaşanan zorluk ile yazma ve kodlamadaki zayıflık, disleksinin karakteristik özellikleri arasındadır. Bu sorunlar dilin fonolojik yapısından kaynaklanmakta ve bireyin diğer bilişsel alanlarına ve sınıf içinde etkili bir eğitim almasına rağmen beklenmedik biçimde ortaya çıkmaktadır (Uluslararası Disleksi Derneği, 2003'ten akt. Balcı, 2017a). Disleksi, yeterli zekâ ve öğretime karşın sözcük tanımada yavaşlık ve yanlışlıkla tanımlanan bir gelişimsel bozukluk olarak ele alınmaktadır (Peterson & Pennington, 2012, p. 1997). Yaygınlık oranları, tanım ve ölçütlere bağlı olarak değişmekle birlikte okul çağındaki çocukların %3-7'sini etkilediği, bazı tahminlerin ise daha yüksek old uGu bildirilmektedir (Mandke et al., 2022, p. 119079); alanyazındaki yaygınlık tahminleri %3 ile %10 arasında değişmektedir (Snowling, 2012, p. 8). Disleksinin kesin nedenleri hâlâ tam olarak net değildir; ancak anatomik ve beyin görüntüleme çalışmaları, disleksisi olan bireylerin beyin gelişiminde ve işleyişinde farklılıklar olduğunu göstermektedir. Disleksi ne zekâ eksikliğinden ne de öğrenme isteğinden kaynaklanır; uygun öğretim yöntemleriyle disleksili öğrenciler başarılı bir şekilde öğrenebilmektedir.
Disleksi kavramının tarihsel gelişimi, olgunun nasıl tanımlandığını anlamak açısından önem taşımaktadır. Disleksi terimine ilk atıf 1872 yılında Almanya'nın Stuttgart şehrinden hekim R. Berlin tarafından yapılmış; Berlin bu terimi, edinilmiş disleksisi olan, yani bir beyin lezyonu nedeniyle okuma yeteneğini kaybetmiş bir yetişkin vakasını tanımlamak için kullanmıştır. Kısa bir süre sonra Dr. A. Kussmaul (1877) "kelime körlüğü" terimini öne sürmüş, Charcot (1887) aleksiyi okuma yeteneğinin tamamen kaybolması olarak tanımlamış, Bateman (1890) ise aleksi ya da disleksiyi hastanın grafik sembollerin geleneksel anlam hafızasını kaybettiği bir sözel amnezi biçimi olarak ele almıştır (akt. Guardiola, 2001). Dejerine'in 1892'de gerçekleştirdiği çalışma, bu okuma sorunlarına neden olan lezyonu parietal lob ile sol oksipital lobun orta ve alt bölümlerine lokalize etmiştir. O dönemde disleksi ağırlıklı olarak serebral travmadan kaynaklanan, özünde nörolojik bir yetersizlik olarak değerlendirilmiş ve bugün bu tabloya yaygın olarak edinilmiş disleksi adı verilmiştir. Bununla birlikte ani bir beyin hasarından kaynaklanmayan, çocuğun büyüme sürecinde gelişen başka bir disleksi biçimi daha tanımlanmıştır ve bu biçim gelişimsel disleksi olarak adlandırılmaktadır.
Okul çağındaki disleksili bireylerde yirmiye kadar sayma, haftanın günlerini ve alfabeyi sayma gibi basit sıralamaları yapmakta, "gel-yel" gibi kelime kafiyelerini anlamada, aynı harfle başlayan kelimeleri hatırlamada, telaffuzda, elleriyle ritim tutarak şarkıya eşlik etmede, kelimeyi hatırlamada, insanların ve yerlerin isimlerini hatırlamada ve tarif edilen yolu hatırlamada güçlükler yaşanabilmektedir (Uluslararası Disleksi Derneği, 2009'dan akt. Balcı, 2017b). Özgül öğrenme güçlüğü olan öğrencilerde dikkat süreleri kısa olup dikkatleri kolayca dağılabilmekte; dil gelişiminde, kendini ifade etmede, yön bulmada, mesafe ve ölçümleri kestirebilmede, planlamada, görsel-mekânsal algıda, görsel-motor koordinasyonu sağlamada ve işitsel algıda güçlükler yaşanabilmektedir (akt. Dadandı ve Urfalı-Dadandı, 2015). Çocukluğun erken dönemlerinde motor gelişim ve dil gelişimi birlikte ilerlemekte; aile öyküsü ve değerlendirmeler sonucunda disleksi açısından riskli grupta olan çocuklarda motor gelişimin de yaşıtlarına oranla geride seyrettiği gözlemlenmekte, bu bulgular disleksinin yalnızca okuma-yazma becerilerini değil motor performansı da etkilediğini göstermektedir (akt. Doğan ve ark., 2026). Özgül öğrenme güçlüğü olan öğrencilerin akademik başarısı ile potansiyeli arasındaki fark ilkokuldan itibaren ortaya çıkmakta, ilerleyen yıllarda ise giderek belirginleşmektedir

(Pierangelo ve Giuliani, 2008'den akt. Dadandı ve Urfalı-Dadandı, 2015). Bu tablo, disleksinin erken dönemde tanılanmasını ve uygun desteğe erişimin geciktirilmemesini kritik hâle getirmektedir.

Türkiye'de eğitim ortamlarında disleksinin tanılanmasında sorunlar yaşanmakta; okuma sorunu yaşayan bireylerin disleksili olup olmadığının ve disleksiliyse hangi basamaklarda sorun yaşadığının tespit edildiği düzenli ve standart bir çalışmadan söz etmek mümkün görünmemektedir. Bu öğrencilerde ilaçlı tedavi kullanılmamakta, yalnızca eğitsel yöntemlerle destek sağlanabilmektedir. Millî Eğitim Bakanlığı'nın 2024-2025 eğitim-öğretim dönemi örgün eğitim istatistiklerine göre ilkokul kademesinde toplam 5.704.483 öğrenci öğrenim görmektedir. Öte yandan Türkiye'de en az 250 bin disleksi olan ilkokul öğrencisi olabileceği tahmin edilmektedir. Disleksinin Türkiye'de görece yeni bir kavram olması ve eğitimcilerin dikkatini ancak son dönemlerde çekmesi, tanılama ve destek süreçlerindeki belirsizliklerle birlikte değerlendirildiğinde, okul paydaşlarının bilgi düzeyinin önemini artırmaktadır (Balcı, 2019). Bu kapsamda her yıl Ekim ayının ilk haftası "Disleksi Farkındalık Haftası", bu haftanın Perşembe günü ise "Dünya Disleksi Günü" olarak kabul edilmekte; düzenlenen etkinlikler disleksiye dikkat çekmeyi, toplumsal farkındalık oluşturmayı, erken tanının önemini vurgulamayı ve özel öğrenme güçlüğü yaşayan bireylere destek sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu süreçte ebeveynler, çocuklarının eğitim yaşamındaki birincil bakım verenler olarak belirleyici bir konumda bulunmaktadır; ancak disleksiye ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyleri farklı ülkelerde yürütülen araştırmalarda tutarlı bir görünüm sergilememektedir. Mısır'da 952 ebeveynle yürütülen kesitsel bir araştırmada ebeveynlerin yarısından fazlasının çocuklarındaki disleksiye ilişkin bilgi düzeyinin yetersiz olduğu ve çoğunluğunun olumsuz tutum sergilediği bulunmuştur (Abdel-Azem et al., 2024). Polonya'da yürütülen bir çalışmada ebeveynlerin disleksi hakkında en azından temel bilgiye sahip oldukları ve belirtileri doğru tanıdıkları, ancak bilgi sahibi olduklarını belirtmelerine karşın disleksiye ilişkin stereotipleri yineleyebildikleri görülmüştür (Famuła-Jurczak & Perzanowska, 2023). Malezya'da yürütülen bir araştırma ise ebeveynlerin farkındalığının artırılması ve destek sistemlerinin sağlanması gereğine dikkat çekmektedir (Rauf et al., 2018). Çin'de genel halkın farkındalık ve bilgisini inceleyen bir araştırmada, katılımcıların yaklaşık %70'i disleksiyi duymuş olmakla birlikte bilgi maddelerinin yalnızca %49'una doğru yanıt verdiği; farkındalık ve bilgi düzeylerinin yaş, cinsiyet, yerleşim yeri, eğitim ve gelir düzeyi gibi demografik değişkenlere göre farklılaştığı ve ebeveynlerin, ebeveyn olmayanlara kıyasla daha düşük farkındalığa sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı çalışmada katılımcıların neredeyse üçte biri disleksiyi yetersiz ebeveynlik ve disiplin eksikliğine ya da yetersiz okuma öğretimine bağlamıştır (Chen et al., 2026). Nijerya'da ilkokul çocuklarının birincil bakım verenleriyle yürütülen ve dokuz ebeveyn ile dokuz öğretmenin katıldığı nitel bir araştırmada hem ebeveynlerin hem de öğretmenlerin disleksi hakkında yeterli bilgiye sahip olmadıkları belirlenmiştir. Ebeveynler, öğretmenler ve klinisyenlerin gelişimsel disleksiye ilişkin bilgilerini haritalandıran, disleksi özelliklerine ilişkin 95 ve müdahaleye ilişkin 56 çalışmayı kapsayan bir kapsam incelemesinde, bu paydaş gruplarında doğru, yanlış ve kısmen doğru inanışların bir arada bulunduğu (Bollig et al., 2025) ve yanlış inanış yaygınlığının gruplar arasında anlamlı farklılık göstermediği bildirilmiştir (Bollig et al., 2025). Bu bulgular, disleksiye ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyinin toplumdan topluma değiştiğini; ancak bu düzeyin hangi demografik değişkenlerle ilişkili olduğunun araştırmadan araştırmaya farklılaşabildiğini göstermektedir.

Türkiye alanyazını incelendiğinde ise disleksiye ilişkin araştırmaların ağırlıklı olarak öğretmenler ve öğretmen adayları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Aydoğmuş, 2024). Sınıf öğretmenleriyle yürütülen bir araştırmada öğretmenlerin disleksi alanında yeterli bilgi

düzeyine sahip olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Şahin & Koca, 2024); ulusal ve uluslararası alanyazında da öğrenme güçlüğü olan öğrencilerle çalışan öğretmenlerin bilgi düzeylerinin istenilen düzeyde olmadığı belirtilmektedir (Ceylan et al., 2025). Türkiye'de yaşayan yetişkinlerin disleksiye ilişkin bilgi düzeylerini belirlemeyi amaçlayan ve 500 yetişkinin (283 kadın, 217 erkek) katıldığı bir araştırmada, ulusal alanyazında toplumdaki bireylerin disleksiye yönelik farkındalık ve bilgi düzeylerini inceleyen bir çalışmaya ulaşılamadığı vurgulanmıştır (Seçkin-Yılmaz ve Erim, 2019). Dolayısıyla çocuğun okuma serüveninde en yakın gözlemci ve destekleyici rol üstlenen ebeveynlerin disleksi bilgisine ilkişkin çalışmalara Türkiye'de görece daha az rastlanmaktadır.

Okul öncesi dönemde bazı belirtilerin ebeveynler ve öğretmenler açısından uyarıcı özellik taşıması, öğrenme güçlüğü riski altındaki çocukların erkenden fark edilmesinin taşıdığı önem, disleksi tanısı alan çocukların ailelerinde gözlenen daha yüksek stres düzeyi ve Türkiye'de özgül öğrenme güçlüğünün ebeveynler tarafından zihinsel gerilik ile karıştırılabilmesi, ebeveynlerin disleksiye ilişkin farkındalık ve bilgi düzeylerinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bunun yanında genel yetişkin örneklemiyle yürütülen araştırmaların, bilgi ve farkındalık düzeyinin demografik değişkenlerle ilişkisi konusunda farklı sonuçlar ortaya koyması (Chen, Huang ve Taha, 2026; Seçkin-Yılmaz ve Erim, 2019), ilkokul kademesindeki öğrencilerin ebeveynlerinde bu düzeyin çeşitli değişkenlere göre incelenmesini anlamlı kılmaktadır. Ebeveynlerin hangi konularda doğru bilgiye, hangi konularda yanlış inanışa sahip olduğunun belirlenmesi, hem erken tanı sürecinde ailenin işlevini güçlendirecek hem de hedef kitleye yönelik bilgilendirme çalışmalarının içeriğinin planlanmasına katkı sağlayacaktır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, ilkokul öğrencilerinin ebeveynlerinin disleksiye ilişkin bilgi düzeylerini belirlemek ve bu düzeylerin çeşitli sosyodemografik özelliklere göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemektir. Araştırmada ayrıca ebeveynlerin disleksiye ilişkin yanlış inanışlarının ve bilgi eksikliklerinin yoğunlaştığı konuların belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu genel amaç doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmıştır:

1. İlkokul öğrencilerinin ebeveynlerinin disleksiye ilişkin genel bilgi düzeyleri nasıldır?
2. Ebeveynlerin disleksi bilgi puanları cinsiyet, eğitim düzeyi, çalışma durumu ve çocuklarının devam ettiği okul türüne göre anlamlı biçimde farklılaşmakta mıdır?
3. Ebeveynlerin disleksi bilgi puanları aylık gelir düzeylerine göre anlamlı biçimde farklılaşmakta mıdır?
4. Ebeveynlerin disleksiye ilişkin hangi konularda yanlış yanıtları ve "bilmiyorum" yanıtları yoğunlaşmaktadır?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma modeli

Bu araştırma ilkokul öğrencilerinin ebeveynlerinin disleksiye ilişkin bilgi düzeylerinin çeşitli değişkenlere göre incelenmesi amacıyla nicel araştırmalardan tarama modeli kullanılmıştır. Tarama araştırmaları bir olay ya da konuya ilişkin olarak katılımcıların görüşlerinin ya da ilgi, beceri, yetenek vb. özelliklerinin belirlendiği genellikle diğer araştırmalara göre daha büyük örneklemler üzerinde yapılan araştırmalardır (Büyüköztürk vd., 2020).

2.2. Çalışma grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim öğretim yılında Millî Eğitim Bakanlığı araştırma uygulama izni kapsamında belirlenen üç devlet okulundan, araştırmacılar tarafından veri toplama sürecinde ulaşılan diğer devlet okullarından ve çocuğu özel okula devam eden velilerden elde edilen katılımcılar oluşturmuştur. Ankara'da yürütülen veri toplama sürecinde

353 geçerli katılımcı yanıtına ulaşılmıştır. Araştırma, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Etik Kurulunun 24.11.2025 tarihli ve 09/874 sayılı kararıyla etik açıdan uygun bulunmuştur. Katılım gönüllülük esasına dayanmış ve katılımcılardan onam alınmıştır.

Araştırmaya katılan ebeveynlerin yaş ortalaması 38,83'tür (SS = 6,09; aralık: 22–58). Sosyodemografik özelliklere ilişkin dağılımlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların sosyodemografik özellikleri

Değişken**	**Kategori**	**n**	**%**
Cinsiyet	Kadın	315	89,2
	Erkek	38	10,8
Çalışma durumu	Çalışıyor	169	47,9
	Çalışmıyor	184	52,1
Okul türü	Devlet	316	89,5
	Özel	37	10,5
Eğitim düzeyi	İlkokul	18	5,1
	Ortaokul	25	7,1
	Lise	101	28,6
	Ön lisans	67	19,0
	Lisans	115	32,6
	Lisansüstü*	27	7,6

*Lisansüstü eğitim grubu 24 yüksek lisans ve 3 doktora mezunundan oluşmaktadır.
**Her değişken için toplam n = 353'tür.

2.2. Veri toplama aracı

2.2.1. Kişisel Bilgi Formu

Araştırmada veri toplamak için araştırmacılar tarafından geliştirilen yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi, çalışma durumu, gelir ve okul türü gibi değişkenlerin yer aldığı Kişisel Bilgi Formu kullanılmıştır.

2.2.2. Disleksi Bilgi ve İnanç Ölçeği

Araştırmada Soriano-Ferrer ve Echegaray-Bengoa (2014) tarafından geliştirilen ve Sümer-Dodur ile Altındağ-Kumaş (2021) tarafından Türkçeye uyarlanarak geçerlilik ve güvenilirlik çalışması yapılan "Disleksi Bilgi ve İnanç Ölçeği (DBİ)" kullanılmıştır. Ölçme aracı katılımcılardan her ifadeye "Doğru", "Yanlış" veya "Bilmiyorum" yanıtı vermesini isteyen 36 maddelik bir araçtır. Ölçme aracında yer alan maddeler "genel bilgi," "tanı" ve "tedavi" olmak üzere üç boyut altında toplanmaktadır. Ölçme aracı Türkçeye çevrildikten sonra elde edilen ölçümler sonucunda Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları "genel bilgi" boyutu için 0.87, "tanı" boyutu için 0.85 ve "tedavi" boyutu için 0.78 olarak hesaplanmıştır (Sümer-Dodur ve Altındağ-Kumaş, 2021). Bu çalışma kapsamında Disleksi Bilgi ve İnanç Ölçeği'nin iç tutarlılık katsayıları 353 ebeveynden elde edilen veriler üzerinden yeniden hesaplanmıştır. Doğru yanıtların 1, yanlış ve "bilmiyorum" yanıtlarının 0 olarak kodlandığı analizlerde Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları genel bilgi boyutu için 0,79, tanı boyutu için 0,78 ve tedavi boyutu için 0,70 olarak bulunmuştur. Ölçeğin tamamına ilişkin iç tutarlılık katsayısı ise 0,90 olarak hesaplanmıştır. Ölçeğin kullanılması için araştırmacılarla iletişime geçilerek gerekli izinler alınmıştır.

2.3. Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen veriler kullanılan cevap anahtarına göre doğru yanıtlar 1, yanlış ve

"Bilmiyorum" yanıtları 0 olarak kodlanmış ve 0–36 arasında değişen toplam doğru yanıt sayısı hesaplanmıştır. Verilerin analizi IBM *SPSS* Statistics paket programı kullanılarak yapılmıştır. Önce betimsel istatistikler, yanıt yüzdeleri, medyan ve çeyrekler arası aralıklar hesaplanmıştır. İkili (doğru/yanlış) puanlanan 36 maddenin iç tutarlılığı Kuder–Richardson 20 (KR-20) katsayısıyla değerlendirilmiştir. KR-20'nin yüksek olması maddelerin birlikte tutarlı puan ürettiğini gösterir; ancak bu değer ölçeğin ebeveynlerde yapı geçerliğinin kanıtı olarak yorumlanmamıştır. Normallik, toplam puan üzerinde Shapiro–Wilk testi, çarpıklık-basıklık katsayıları ve dağılımın görünümüyle; varyans homojenliği medyana dayalı Levene (Brown–Forsythe) testiyle incelenmiştir. Shapiro–Wilk testi büyük örneklemlerde küçük sapmalara duyarlı olabileceğinden tek başına karar ölçütü yapılmamıştır. Grup büyüklükleri dengesiz olduğundan ve gelirde varyans homojenliği sınırda ihlal edildiğinden, iki bağımsız grupta Welch t-testi, çok gruplu karşılaştırmalarda Welch ANOVA parametrik duyarlılık analizi olarak hesaplanmıştır. Toplam puan kesikli ve sınırlı olduğundan Mann–Whitney U ve Kruskal–Wallis H testleri de raporlanmıştır. Bu iki test ailesinin sıfır hipotezleri aynı olmadığından sonuçlar eşdeğer testler olarak değil, yakınsaklık (duyarlılık) değerlendirmesi olarak ele alınmıştır.

Kruskal–Wallis testinin anlamlı çıktığı değişkenlerde post-hoc olarak Bonferroni düzeltmeli ikili Mann–Whitney karşılaştırmaları yapılmıştır. Eğitim düzeyi ilkokul, ortaokul, lise, ön lisans, lisans ve lisansüstü olmak üzere altı gruptur; yüksek lisans (n = 24) ve doktora (n = 3) kavramsal yakınlık ve küçük grup büyüklüğü nedeniyle lisansüstü kategorisinde birleştirilmiş, hiçbir katılımcı analiz dışı bırakılmamıştır. Analizler iki yönlüdür; anlamlılık düzeyi $\alpha = 0{,}05$'tir ve çoklu karşılaştırmalarda düzeltilmiş p değerleri esas alınmıştır.

Etki büyüklüğü olarak çalışma durumu için Cohen d, Hedges g ve sıra-biserial korelasyon (r_{rb}); çok gruplu Kruskal–Wallis testleri için $\varepsilon^2 = H/(n-1)$ ve $\eta^2_H = (H - k + 1)/(n - k)$ hesaplanmıştır (Tomczak ve Tomczak, 2014). Değerler Cohen (1988) ölçütleriyle birlikte yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Disleksi bilgi puanları ve güvenirlik

Alt boyutlar için alfa katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçek ve alt boyutların iç tutarlılık katsayıları

Alt Boyutlar	Madde sayısı	Cronbach α / KR-20
Genel bilgi	17	0,791
Tanı	10	0,782
Tedavi	9	0,708
Toplam bilgi puanı	36	0,905 (KR-20)

Ebeveynlerin 36 madde üzerinden elde edilen toplam bilgi puanı ortalaması 15,08 (SS = 7,73), ortancası 17 ve gözlenen puan aralığı 0–32'dir. Ortalama doğru yanıt oranı %41,9'dur. Ölçeğin toplam iç tutarlılık katsayısı KR-20 = 0,905 olarak hesaplanmıştır.

3.3. Sosyodemografik değişkenlere göre karşılaştırmalar

Toplam bilgi puanının dağılımı Shapiro–Wilk testine göre normal dağılımdan sapmaktadır ($W = 0{,}954$; $p < 0{,}001$). Ancak çarpıklık (−0,447) ve basıklık (−0,640) değerleri aşırı değildir. Grupların büyüklükleri eşit olmadığından ve gelir gruplarında varyans homojenliği sınırda ihlal edildiğinden (Levene $p = 0{,}049$), nonparametrik testler temel analiz olarak kullanılmış; Welch testleriyle duyarlılık incelemesi yapılmıştır. İki yaklaşımın anlamlılık kararları örtüşmektedir.

Tablo 3. Toplam bilgi puanının sosyodemografik özelliklere göre karşılaştırılması

Değişken	Nonparametrik test	p
Cinsiyet	Mann–Whitney U = 6.130	0,808
Çalışma durumu	Mann–Whitney U = 12.286,5	0,001
Okul türü	Mann–Whitney U = 4.926	0,117
Eğitim düzeyi (6 grup)	Kruskal–Wallis H = 15,16	0,010
Gelir düzeyi (7 grup)	Kruskal–Wallis H = 21,89	0,001

p<0,05

Tablo 3 incelendiğinde çalışan ebeveynlerin bilgi puanı ortalaması (16,51), çalışmayan ebeveynlerden (13,77) daha yüksektir (Cohen d = 0,36). Eğitim düzeyi ve gelir grupları için genel farklılıklar anlamlı olmakla birlikte etki büyüklükleri küçüktür (eğitim: düzeltilmiş η^2H = 0,029; gelir: η^2H = 0,046). Eğitim düzeyindeki 15 ikili karşılaştırmanın hiçbiri Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlı kalmamıştır.

Tablo 4. Aylık hane geliri düzeyine göre disleksi bilgi puanları

Aylık gelir	n	Ortalama	SS
0–10.000 TL	29	11,17	7,46
10.001–20.000 TL	19	13,37	11,08
20.001–30.000 TL	48	12,79	7,92
30.001–40.000 TL	47	15,19	7,66
40.001–50.000 TL	52	16,19	6,63
50.001–80.000 TL	90	15,54	6,93
80.001 TL ve üzeri	68	17,31	7,67
Toplam	353	15,08	7,73

Tablo 4 incelendiğinde gelir gruplarındaki 21 karşılaştırmanın üçünde anlamlılık korunmuştur: 80.001 TL ve üzeri ile 0–10.000 TL (p = 0,005) ve 20.001–30.000 TL (p = 0,029), ayrıca 40.001–50.000 TL ile 0–10.000 TL (p = 0,049). Bu bulgular nedensel ilişki göstermemektedir.

3.4. Madde düzeyindeki yanlış yanıtlar ve bilgi belirsizlikleri

Yanlış ve "bilmiyorum" yanıtları toplam puan hesaplanırken aynı puanı alsa da içerik bakımından farklı anlamlar taşımaktadır. Bu nedenle en yüksek oranların gözlendiği maddeler iki yanıt türü açısından ayrı değerlendirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. En fazla yanlış ve "bilmiyorum" yanıtı verilen maddeler

Yanıt türü	Madde / konu	n	%
Yanlış	Madde 2 – Görsel algı eksikliği	252	71,4
Yanlış	Madde 13 – Harf/sözcük ters çevirmeleri	231	65,4
Yanlış	Madde 17 – Renkli okuma işaretleyicileri	175	49,6
Bilmiyorum	Madde 8 – Cinsiyete göre görülme sıklığı	244	69,1
Bilmiyorum	Madde 27 – Beyin işlevleri	228	64,6
Bilmiyorum	Madde 7 – Görülme sıklığı	205	58,1
Bilmiyorum	Madde 19 – Çok duyulu öğretim	204	57,8

Tablo 5 incelendiğinde görsel algı ve harf ters çevirme maddelerindeki yanlış yanıtlar belirli yanlış inanışların yaygınlığını; görülme sıklığı, beyin işlevleri ve öğretim yöntemlerine ilişkin "bilmiyorum" yanıtları ise bilgi belirsizliğini göstermektedir. Bunlar ölçeğin doğrulanmış alt

boyutları değil, madde içeriğine dayalı betimsel konu başlıklarıdır.

4. TARTIŞMA

Bu araştırmada ebeveynler, 36 maddelik testte ortalama %41,9 doğru yanıt oranına ulaşmıştır. Elde edilen bu sonuç tek başına "yetersiz ebeveyn" tanımı oluşturmaz; ancak ortalamanın azami puanın yarısının altında kalması ve bazı maddelerde yanlış ya da "bilmiyorum" yanıtlarının kümelenmesi, bilgilendirme müdahalelerinde içeriğin hedeflenebileceğini göstermektedir. Yanlış ve "bilmiyorum" yanıtları puanlamada aynı değeri (0) aldığından toplam puan bilgi eksikliği ile yanlış inanışı birbirinden ayırmamaktadır; bu ayrım yalnızca madde düzeyinde yapılabilmiştir.

Önceki araştırmalar öğretmenlerin disleksiye ilişkin yanlış inanışlarını ve bilgi eksikliklerini ayrı kategorilerde incelemiştir (Echegaray-Bengoa ve ark., 2017; Soriano-Ferrer ve ark., 2016). Mevcut ebeveyn örnekleminde özellikle disleksinin görsel algı eksikliğinden kaynaklandığı ve harflerin ters çevrilmesinin temel belirti olduğu yönündeki ifadelerin sorunlu olması, toplumdaki basitleştirici açıklamalarla uyumludur. Alan yazında disleksinin temelinde sesbilgisel işlemleme güçlüklerinin öne çıktığı dikkate alındığında (Peterson ve Pennington, 2012; Snowling ve ark., 2020), sesbilgisel işlemleme maddesinde katılımcıların %53,8'inin "bilmiyorum" yanıtı vermesi de dikkat çekicidir. Bununla birlikte öğretmen örnekleminden elde edilen oranlar ile ebeveyn örneklemimizdeki oranlar doğrudan eşdeğer karşılaştırmalar olarak değerlendirilmemektedir.

Çalışan ebeveynlerin puanlarının daha yüksek olması bilgiye erişim veya eğitsel kaynaklara ulaşma gibi olası yollarla ilişkili olabilir. Eğitim ve gelirde genel farklılıklar küçük etki büyüklükleriyle birlikte görülmüştür. Çalışma durumu, eğitim ve gelir birbiriyle ilişkili değişkenlerdir ve her biri ayrı ayrı karşılaştırılmıştır; bu nedenle gözlenen farklar ortak bir etkiyi yansıtıyor olabilir. Gelecek çalışmalarda bu değişkenlerin birlikte modellendiği çok değişkenli analizler (bu sorunun yanıtlanmasına katkı sağlayabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada 353 ebeveynin disleksi bilgi maddelerine verdiği doğru yanıtların ortalaması 36 üzerinden 15,08'dir (%41,9). Puanlar çalışma durumuna göre anlamlı biçimde farklılaşmış (küçük–orta etki); eğitim ve gelirde genel testler anlamlı çıkmış ancak etki büyüklükleri küçük kalmıştır. Eğitimde ikili karşılaştırmalar Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlılığını korumamış, gelirde yalnızca üç çift anlamlı kalmıştır. Cinsiyet ve okul türüne göre anlamlı fark saptanmamıştır. Madde düzeyinde, disleksinin görsel algı sorunu olarak görülmesi ve harf ters çevirmelerinin temel belirti sayılması gibi yanlış yanıtlar ile görülme sıklığı, nörobilişsel temeller ve öğretimsel müdahalelere ilişkin yüksek "bilmiyorum" oranları dikkat çekmiştir.

Bu doğrultuda okul–aile iş birliğiyle kısa, anlaşılır ve erişilebilir bilgilendirme materyalleri geliştirilmesi; yanlış inanışların düzeltilmesi ile bilgi eksikliklerinin giderilmesinin ayrı öğrenme hedefleri olarak ele alınması; içeriklerin görülme sıklığı, nörobilişsel temeller ve kanıta dayalı müdahale seçeneklerini kapsaması ve materyallerin farklı eğitim geçmişlerine sahip ebeveynlerce anlaşılabilirliğinin sınanması önerilmektedir. Sonraki araştırmalarda ebeveynlere uygun psikometrik uyarlama, farklı illerde olasılıklı örneklem, okul kümelenmesini hesaba katan modeller ve bilgilendirme programlarının ön test–son test desenleriyle değerlendirilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

Abdel-Azem, D., Ahmed, L. I., Mansy, A. M. A., & Fadel, M. (2024). Parents' Knowledge and Attitude Regarding Dyslexia: Cross-Sectional Survey. *International Egyptian Journal of Nursing Sciences and Research*, *4*(2), 484–503. https://doi.org/10.21608/ejnsr.2024.263578.1356

Aydoğmuş, M. (2024). Sınıf Öğretmeni Adaylarının Disleksi Hakkındaki Bilgi ve İnanç Düzeylerinin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12*(15), 23-40. https://izlik.org/JA86MW63ER

Balcı, E. (2019). Disleksi Hakkında Öğretmen Görüşleri ve Karşılaştıkları Sorunlar. *Ege Eğitim Dergisi, 20*(1), 162–179. https://doi.org/10.12984/egeefd.453922

Bollig, B., Coverdale, G., Bayliss, D. M., McArthur, G., & Badcock, N. A. (2025). What Parents, Teachers and Clinicians Know About the Features of Developmental Dyslexia and Its Intervention: A Scoping Review. *Dyslexia*, *32*(1). https://doi.org/10.1002/dys.70017

Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2020). *Eğitimde bilimsel araştırma yöntemleri*. Pegem Akademi.

Ceylan, M., Çetin, E., & Karadaş, C. (2025). Öğretmen adaylarına sunulan öğrenme güçlüğü hakkındaki bilgi düzeylerinin artırılmasına yönelik eğitimin etkililiği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *9*(16), 166–180. https://doi.org/10.56677/mkuefder.1754751

Chen, S., Huang, Y., & Taha, J. (2026). Public awareness, knowledge and attitudes towards dyslexia in China. *Annals of Dyslexia*. https://doi.org/10.1007/s11881-026-00377-y

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Echegaray-Bengoa, J., Soriano-Ferrer, M., & Joshi, R. M. (2017). Knowledge and beliefs about developmental dyslexia: A comparison between pre-service and in-service Peruvian teachers. *Journal of Hispanic Higher Education*, *16*(4). https://doi.org/10.1177/1538192717697591

Famuła-Jurczak, A., & Perzanowska, K. (2023). Developmental Dyslexia – it's (not) a Problem. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, *10*(1), 133–143. https://doi.org/10.15330/jpnu.10.1.133-143

Mandke, K. N., Flanagan, S. A., Macfarlane, A., Gabrielczyk, F. C., Wilson, A. M., Groß, J., & Goswami, U. (2022). Neural sampling of the speech signal at different timescales by children with dyslexia. *NeuroImage*, *253*, 119077. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119077

Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, *379*(9830), 1997–2007. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(12)60198-6

Rauf, A. A. A., Ismail, M. A., Balakrishnan, V., & Haruna, K. (2018). Dyslexic Children: The Need for Parents Awareness. *Journal of Education and Human Development*, *7*(2). https://doi.org/10.15640/jehd.v7n2a12

Şahin, Ö. N., & Koca, F. (2024). Öğretmenlerin öğrenme güçlüğü hakkındaki farkındalık ve bilgi düzeyleri. *Uygulamada Eğitim ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 4*(1), 81-105. https://izlik.org/JA59MH75SW

Snowling, M. J. (2012). Early identification and interventions for dyslexia: a contemporary view. *Journal of Research in Special Educational Needs*, *13*(1), 7–14. https://doi.org/10.1111/j.1471-3802.2012.01262.x

Snowling, M. J., Hulme, C., & Nation, K. (2020). Defining and understanding dyslexia: Past, present and future. *Oxford Review of Education*, *46*(4), 501–513. https://doi.org/10.1080/03054985.2020.1765756

Seçkin Yılmaz, Ş., & Erim, A. (2019). Türkiye'de yaşayan yetişkinlerin disleksiye ilişkin bilgi düzeylerinin incelenmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 19*(3), 1102-1114. https://doi.org/10.17240/aibuefd.2019.19.49440-583895

Soriano-Ferrer, M., & Echegaray-Bengoa, J. (2014). A scale of knowledge and beliefs about developmental dyslexia: Scale development and validation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *132*, 203–208. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.299

Sümer Dodur, H. M., & Altındağ-Kumaş, Ö. (2021). "Disleksi Bilgi ve İnanç Ölçeği"nin geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Kalem Eğitim ve İnsan Bilimleri Dergisi, 11*(1), 115–131. https://doi.org/10.23863/kalem.2020.160

Tomczak, M., & Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited: An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, *21*(1), 19–25.

HAYVANSAL ÜRÜNLERE DAYALI GIDA SANAYİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Prof. Dr. Okan ATAY
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3783-4055
Dr. Öğr. Üyesi H. Ayla SARI
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Food Processing, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4282-3294
Prof. Dr. Özdal GÖKDAL
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0130-698X
Öğr. Gör. Ali Kemali ÖZUĞUR
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production 09500, Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5064-3472
Doç. Dr. Vadullah EREN
ORCID ID: 0000-0002-5296-7120
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye

ÖZET

Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, hayvansal ürünlere dayalı gıda sanayisinde kalite kontrol, gıda güvenliği ve üretim süreçlerinin yönetimine yönelik yeni olanaklar sunmaktadır. Bu derlemede, yapay zekânın süt ve süt ürünleri, kırmızı et, kanatlı eti, yumurta ve balın işlenmesi, kalite kontrolü ve muhafazasında kullanım alanları ile uygulamaların mevcut durumu ve sınırlılıkları değerlendirilmiştir. Görüntüleme ve sensör tabanlı analiz teknolojilerinden yararlanan yapay zekâ destekli akıllı gıda işleme ve kalite kontrol sistemlerinin; ürünlerin kalite özelliklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, tağşişin tespiti ve mikrobiyolojik bozulma risklerinin değerlendirilmesinde önemli bir potansiyel taşıdığı görülmektedir. Bunun yanında, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, ambalajlama ve etiketleme işlemlerinin denetlenmesi, raf ömrünün tahmin edilmesi, soğuk zincirin izlenmesi ve tedarik zinciri yönetimi de yapay zekânın kullanım alanları arasında yer almaktadır. Ancak literatürde bildirilen yüksek başarı oranlarının önemli bir bölümü laboratuvar ortamında veya sınırlı deney koşullarında elde edilmiş olup, geliştirilen sistemlerin farklı ürün ve işletme koşullarındaki güvenilirliği ve genellenebilirliği henüz yeterince ortaya konulmamıştır. Veri kalitesi, teknik altyapı gereksinimleri, yatırım maliyetleri, çalışanların teknoloji okuryazarlığı düzeyi, yapay zekâ alanında uzman personel ihtiyacı ve mevcut üretim sistemleriyle bütünleşme güçlükleri de bu teknolojilerin yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ hayvansal gıda sanayisinde kalite ve güvenliğin iyileştirilmesi, üretim kayıplarının azaltılması ve kaynakların daha etkin kullanılması açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu potansiyelin endüstriyel uygulamalara dönüşebilmesi için gerçek işletme koşullarında gerçekleştirilecek doğrulama çalışmalarına ve ekonomik uygulanabilirlik değerlendirmelerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, hayvansal gıdalar, kalite kontrol, gıda güvenliği, gıda işleme.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN THE ANIMAL-DERIVED FOOD INDUSTRY

ABSTARCT

Advances in artificial intelligence (AI) technologies offer new opportunities for quality control, food safety, and production process management in the animal-derived food industry. This review examines the applications of AI in the processing, quality control, and preservation of milk and dairy products, red meat, poultry meat, eggs, and honey, as well as the current status and limitations of these applications. AI-driven smart food processing and quality control systems utilizing imaging and sensor-based analytical technologies show considerable potential for assessing product quality attributes, classifying products, detecting adulteration, and evaluating microbial spoilage risks. In addition, improvements in production processes, inspection of packaging and labeling operations, shelf-life prediction, cold chain monitoring, and supply chain management are among the application areas of AI. However, many of the high performance levels reported in the literature have been achieved under laboratory or limited experimental conditions, and the reliability and generalizability of these systems across different products and industrial environments have not yet been sufficiently established. Data quality, technical infrastructure requirements, investment costs, employees' levels of technological literacy, the need for personnel with expertise in AI, and challenges associated with integrating these technologies into existing production systems also limit their widespread adoption. In conclusion, AI offers significant opportunities to improve quality and safety, reduce production losses, and enhance resource efficiency in the animal-derived food industry. Nevertheless, translating this potential into industrial applications requires validation studies under real-world operating conditions and assessments of economic feasibility.

Keywords: Artificial intelligence, animal-derived foods, quality control, food safety, food processing.

1. GİRİŞ

Hayvansal gıdalar, esansiyel amino asitler açısından zengin yüksek kaliteli proteinlerin yanı sıra bazı temel besin maddelerini sağlamaları nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Murphy ve Allen, 2003). Hayvansal gıdaların üretimden tüketime uzanan süreçte kalite ve güvenliğinin korunması, gıda sanayisinin temel gerekliliklerinden biridir. Süt, et ve yumurta gibi hayvansal gıdalarda hammaddenin doğal değişkenliği, mikrobiyolojik riskler ve işleme ile depolama koşullarına bağlı kalite değişimleri, üretim süreçlerinin etkin biçimde izlenmesini ve kontrol edilmesini gerekli kılmaktadır (Prache ve ark., 2022).

Bunun yanında, yüksek hacimli üretim, ürün standardizasyonuna yönelik beklentiler ve gıda güvenliğinin üretim süreci boyunca korunması gerekliliği, geleneksel kontrol yöntemlerini tamamlayan hızlı, nesnel ve gerçek zamanlı değerlendirme teknolojilerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır (Chhetri, 2024; Liakos ve ark., 2025). Bu kapsamda, büyük miktarda verinin analiz edilmesine ve kalite kontrol süreçlerinde kararların desteklenmesine olanak sağlayan yapay zekâ (YZ) uygulamaları giderek önem kazanmaktadır (Liakos ve ark., 2025).

Dijital teknolojilerdeki gelişmelerle birlikte YZ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile bilgisayarlı görü uygulamaları aracılığıyla gıda sanayisinde giderek daha geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Görüntüleme sistemleri, biyosensörler ve nesnelerin interneti (IoT) tabanlı teknolojilerle elde edilen verilerin YZ yöntemleriyle analiz edilmesi; ürün özelliklerinin hızlı ve nesnel biçimde değerlendirilmesine, üretim süreçlerinin izlenmesine ve farklı kaynaklardan elde edilen verilerin birlikte kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Kakani ve ark., 2020; Chhetri, 2024; Liakos ve ark., 2025). Hayvansal gıda sanayisinde bu

uygulamalar; kalite kontrol ve sınıflandırma, kontaminasyonun belirlenmesi ve mikrobiyolojik risklerin değerlendirilmesi, proses kontrolü, raf ömrü tahmini ve izlenebilirlik gibi alanlarda kullanılmaktadır (Kang ve ark., 2022; Chhetri, 2024; Jiang ve ark., 2025).

Gıda sanayisinde birçok üretim aşamasının standartlaştırılmış ve tekrarlanabilir koşullarda yürütülebilmesi, YZ uygulamaları açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Üretim hatlarında sıcaklık, işlem süresi ve çevresel koşulların belirli sınırlar içinde tutulabilmesi ve kamera ile sensörlerin sabit noktalara yerleştirilebilmesi, düzenli ve karşılaştırılabilir veri elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu özellikler, YZ modellerinin üretim süreçlerine entegre edilerek ürünlerin gerçek zamanlı izlenmesi, kalite sapmalarının belirlenmesi ve üretime ilişkin kararların desteklenmesi açısından uygun koşullar sağlamaktadır (Kakani ve ark., 2020; Chhetri, 2024; Liakos ve ark., 2025). Bu yönüyle YZ, hayvansal gıda sanayisinde yalnızca bir analiz aracı değil, üretim ve kalite yönetiminde kararları destekleyen bir bileşen olarak değerlendirilebilir.

Bu derlemede, güncel bilimsel çalışmalardan yararlanılarak hayvansal ürünlere dayalı gıda sanayisinde YZ'nin mevcut kullanım alanlarının, uygulama olanaklarının ve gelecekteki gelişme potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, YZ'nin kalite kontrol ve sınıflandırma, gıda güvenliği ve izlenebilirlik, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, ambalajlama, depolama ve raf ömrü yönetimi ile tedarik zinciri ve sürdürülebilirlik alanlarındaki uygulamaları ele alınmıştır. Ayrıca bu teknolojilerin yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca etkenler ve geleceğe yönelik gelişme beklentileri değerlendirilmiştir.

2. HAYVANSAL GIDA SANAYİSİNDE YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİNİN GENEL İŞLEYİŞİ

Hayvansal gıda sanayisinde YZ destekli sistemler, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin analiz edilerek ürün kalitesi, gıda güvenliği ve üretim süreçlerine ilişkin kararların desteklenmesi esasına dayanmaktadır. Bu sistemlerde görüntüleme, spektroskopik yöntemler (ışığın maddeyle etkileşiminden yararlanarak gıdanın bileşimi ve özellikleri hakkında bilgi sağlayan analiz teknikleri), elektronik burun (uçucu bileşiklerin oluşturduğu koku profilini sensörlerle değerlendiren sistem) ve diğer sensör teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Elde edilen verilerin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle değerlendirilmesi, ürün özelliklerinin sınıflandırılmasına, kalite değişimlerinin belirlenmesine ve üretim süreçlerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır (Kakani ve ark., 2020; Chhetri, 2024; Liakos ve ark., 2025). YZ destekli uygulamalarda veri toplama, analiz, kalite ve güvenlik değerlendirmesi ile karar destek aşamaları birbirini tamamlayan süreçlerdir. Bu süreçlerden elde edilen sonuçlar, ürünlerin uygunluğunun değerlendirilmesi, üretim parametrelerinin iyileştirilmesi, olası risklerin belirlenmesi ve tedarik zinciri yönetimi gibi farklı amaçlarla kullanılabilmektedir. Ayrıca yeni verilerden yararlanılarak modellerin güncellenmesi ve performanslarının izlenmesi, sistemlerin değişen üretim koşullarına uyumunun geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Hayvansal ürünlere dayalı gıda sanayisinde YZ destekli sistemlerin genel işleyişi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Hayvansal ürünlere dayalı gıda sanayisinde veri toplama, yapay zekâ tabanlı analiz ve karar destek süreçlerinin şematik gösterimi. (Yazarlar tarafından oluşturulan kavramsal çerçeve esas alınarak yapay zekâ desteğiyle hazırlanmıştır.)

3. KALİTE KONTROL VE SINIFLANDIRMADA YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıda sanayisinde kalite kontrol, hammaddeden son ürüne kadar ürün özelliklerinin belirlenmesi ve kalite standartlarına uygunluğun değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Görüntüleme, spektroskopik yöntemler (ışığın maddeyle etkileşiminden yararlanarak gıdanın bileşimi ve özellikleri hakkında bilgi sağlayan analiz teknikleri) ve diğer sensör teknolojileriyle elde edilen verilerin YZ yöntemleriyle analiz edilmesi, ürünlerin kalite özelliklerinin hızlı ve nesnel biçimde değerlendirilmesine, sınıflandırılmasına ve üretim süreçlerine ilişkin kararların desteklenmesine olanak sağlamaktadır (Chhetri, 2024; Liakos ve ark., 2025). Bu uygulamalarda veri toplama, YZ tabanlı analiz ve karar destek aşamaları arasındaki ilişkiler Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.

Süt ve süt ürünleri, bu uygulamaların yaygın olarak araştırıldığı hayvansal gıda gruplarından biridir. Mhapsekar ve ark. (2025), sistematik derlemelerinde inceledikleri 43 çalışmanın %51'inin süt bileşiminin izlenmesine, %42'sinin ise tağşişin belirlenmesine odaklandığını bildirmiştir. Mu ve ark. (2020), elektronik burun (uçucu bileşiklerin oluşturduğu koku profilini sensörlerle değerlendiren sistem) ve süt bileşim verilerini makine öğrenmesi yöntemleriyle birlikte değerlendirerek süt örneklerini elde edildikleri işletmelere göre %95 doğrulukla sınıflandırmış, elektronik burun verilerinden süt yağı ve protein içeriğinin tahmininde ise sırasıyla $R^2 = 0{,}9399$ ve $R^2 = 0{,}9301$ değerlerine ulaşmıştır.

Süt ve süt ürünlerinde bileşim özellikleri, mikrobiyolojik kalite, yabancı maddeler ve kimyasal kalıntılar ile özellikle çiğ sütte somatik hücre sayısı önemli değerlendirme ölçütleri arasında yer alırken, et ve et ürünlerinde renk, pH, su tutma kapasitesi, kas içi yağ dağılımı (mermerleşme), yumuşaklık, kimyasal bileşim ve mikrobiyolojik özellikler kalite ve güvenliğin belirlenmesinde önem taşımaktadır.

Geleneksel yöntemlerle değerlendirilmesi zaman alabilen ve bazı durumlarda ürünün bütünlüğünün bozulmasını gerektiren bu özellikler, görüntüleme ve spektroskopik tekniklerin YZ ile bütünleştirilmesi sayesinde daha hızlı, nesnel ve tahribatsız yöntemlerle

değerlendirilebilmekte veya tahmin edilebilmektedir (Olaniyi ve Kucha, 2025; Kim ve ark., 2026).

Bu alandaki araştırmalar, YZ'nin yalnızca görünür kalite özelliklerinin sınıflandırılmasında değil, doğrudan gözlemle belirlenmesi güç niteliklerin tahmininde de kullanılabildiğini göstermektedir. Cai ve ark. (2024), yapılandırılmış aydınlatmalı görüntüleme ve derin öğrenme yöntemleriyle sığır etinin mermerleşme derecesini üç sınıfta %90,85 doğrulukla belirlemiştir. Lee ve ark. (2025) ise hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak sığır etinin yumuşaklığını üç kategoride sınıflandırmış ve Random Forest modeliyle F1-skoru = 1,00 değerine ulaşmıştır. Kanatlı etlerinde de benzer yaklaşımlar geliştirilmekte olup, Ghazali ve ark. (2025), yakın kızılötesi spektroskopi ve hibrit bir yapay sinir ağı modeliyle piliç göğüs etinin yumuşaklığının tahmininde yüksek korelasyon (r = 0,91) elde etmiştir. Kalite kontrolün bir diğer boyutunu, ürünlerin özelliklerinin doğrulanması ve farklı işlem durumlarının ayırt edilmesi oluşturmaktadır. Mia ve Hashem (2026), yakın kızılötesi spektroskopi ve XGBoost algoritmasıyla taze ve dondurulmuş kuzu etlerini %91,2 doğrulukla sınıflandırmıştır. Bu bulgular, YZ destekli analizlerin et sanayinde kalite standardizasyonunun yanı sıra ürün doğrulama ve sınıflandırma süreçlerine de katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Yumurta, dış ve iç kalite özelliklerinin sınıflandırma ve pazarlama açısından önem taşıdığı bir diğer hayvansal gıdadır. Kabuk bütünlüğü, yüzey temizliği, kabuk rengi ve ağırlık gibi özellikler kalite kontrolün temel unsurlarını oluştururken, yumurta akının özellikleri ve tazelik düzeyi de iç kalitenin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır. YZ uygulamaları ile, yumurtanın özellikle dış kalite özelliklerinin hızlı, nesnel ve tahribatsız biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Rho ve Cho, 2024; Yu ve ark., 2025). Wolc ve ark. (2026), 359 yumurtanın cep telefonuyla elde edilen görüntülerini analiz ederek yumurta ağırlığının tahmininde R^2 = 0,922 değerine ulaşmış, normal ve kusurlu yumurtaların sınıflandırılmasında ise %73 doğruluk bildirmiştir. Bu bulgular, düşük maliyetli görüntüleme araçlarının yumurta kalite kontrolünde kullanılma potansiyelini ortaya koymakla birlikte, özellikle kusur tespitinde sınıflandırma performansının geliştirilmesi gerektiğini de göstermektedir.

Yumurtanın iç kalitesi ve tazeliğinin belirlenmesinde ise kabuğun kırılmasını gerektirmeyen yöntemler üzerinde durulmaktadır. Geleneksel olarak Haugh birimi gibi ölçütlerle değerlendirilen tazelik, spektroskopik ve titreşim temelli ölçümlerden elde edilen verilerin makine öğrenmesiyle analiz edilmesi yoluyla da sınıflandırılabilmektedir (Rho ve Cho, 2024). Zhang ve ark. (2026), 600 yumurtayla yürüttükleri araştırmada lazer Doppler vibrometrisi kullanarak elde ettikleri titreşim verilerini farklı makine öğrenmesi algoritmalarıyla değerlendirmiş ve yumurtaları dört tazelik sınıfına %96,7 doğrulukla ayırmıştır. Yalnızca yumurtanın küt ucundan alınan titreşim verileriyle de aynı doğruluğa ulaşılması, daha basit ölçüm sistemlerinin geliştirilebileceğini göstermektedir.

Balda kalite kontrol ve sınıflandırma uygulamaları, ürünün botanik ve coğrafi kökeninin belirlenmesinin yanı sıra kimyasal bileşim özelliklerinin değerlendirilmesini de kapsamaktadır. Bu amaçla spektroskopik ve görüntüleme yöntemlerinden elde edilen verilerin makine öğrenmesi algoritmalarıyla analiz edilmesine yönelik araştırmalar yürütülmektedir. Noviyanto ve Abdulla (2020), hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak balın botanik kökenini sınıflandırmış ve kapalı küme değerlendirmesinde yaklaşık %91 dengeli doğruluk elde etmiştir. Dimakopoulou-Papazoglou ve ark. (2025) ise Türkiye'nin de aralarında bulunduğu beş Akdeniz ülkesinden elde edilen 156 bal örneğini FTIR-ATR spektroskopisi ve makine öğrenmesi yöntemleriyle değerlendirmiştir. Araştırmada, DD-SIMCA yöntemiyle balların coğrafi kökenlerinin belirlenmesinde Türkiye dâhil çoğu ülke için %95'in üzerinde

doğruluk bildirilmiştir.
Balın bileşim özelliklerinin tahmininde de benzer yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Liu ve ark. (2025), üç farklı botanik kökene sahip 121 bal örneğini yakın kızılötesi, orta kızılötesi ve Raman spektroskopisinden elde edilen verilerle incelemiştir. Spektral verilerin birleştirilmesi ve PLSR-RF modelinin kullanılmasıyla botanik kökenin sınıflandırılmasında test kümesinde %100 doğruluk elde edilmiş; toplam organik asit ve amino asit içeriklerinin tahmininde ise sırasıyla $R^2 = 0,94$ ve $R^2 = 0,93$ değerlerine ulaşılmıştır. Bu bulgular, YZ destekli analizlerin balın kökeninin doğrulanması ve bileşim özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

4. GIDA GÜVENLİĞİ, HİJYEN VE İZLENEBİLİRLİKTE YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıdalarda güvenliğin sağlanması, üretim ve işleme süreçlerinde mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikelerin belirlenmesini ve kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Geleneksel analiz yöntemlerini tamamlayıcı olarak kullanılan YZ destekli sistemler, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle kontaminasyonun tespitine ve risklerin tahmin edilmesine, tağşişin belirlenmesine ve üretim zinciri boyunca izlenebilirliğin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

4.1. Mikrobiyolojik Güvenlik

Hayvansal gıdalarda mikrobiyolojik güvenliğin değerlendirilmesinde YZ, mikrobiyal yükün tahmin edilmesi, bozulmanın izlenmesi ve patojenlerin tespitine yönelik farklı yöntemlerle kullanılmaktadır. Görüntüleme ve sensör teknolojilerinden elde edilen verilerin makine öğrenmesiyle analiz edilmesi, geleneksel mikrobiyolojik analizleri tamamlayabilecek hızlı ve bazı uygulamalarda tahribatsız değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Adil ve ark., 2026).
Olaniyi ve ark. (2024), 197 piliç göğüs eti örneğinde yapılandırılmış aydınlatmalı yansıma görüntüleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak örnekleri aerobik bakteri sayılarına göre taze ve bozulmuş olarak sınıflandırmış ve %76 doğruluk elde etmiştir. Meenakshi ve ark. (2026) ise *Listeria monocytogenes* ile deneysel olarak kontamine edilen taze peynir örneklerini kısa dalga kızılötesi (SWIR) görüntüleme ve makine öğrenmesi yöntemleriyle değerlendirmiştir. Araştırmada, Random Forest algoritmasıyla kontamine ve kontrol örneklerinin ayrımında ve farklı kontaminasyon düzeylerinin sınıflandırılmasında %100 doğruluk bildirilmiştir. Bununla birlikte, çalışmanın tek bir üretim partisinden elde edilen örneklerle yürütülmesi ve bağımsız veri setleriyle doğrulama yapılmamış olması, yöntemin endüstriyel koşullardaki performansının henüz ortaya koyulamadığını göstermektedir.
Süt sektöründe mikrobiyolojik kalitenin hızlı değerlendirilmesine yönelik bir araştırmada Thanasirikul ve ark. (2023), 102 çiğ süt örneğinde resazurin testine dayalı renk ölçümlerini makine öğrenmesi yöntemleriyle analiz etmiştir. Düşük ve yüksek mikrobiyal yük sınıflarının belirlenmesinde sırasıyla %100 ve %96 doğruluk bildirilirken, orta düzeyde mikrobiyal yüke sahip örneklerin sınıflandırılmasında daha düşük başarı elde edilmiştir. Mikroorganizma gelişiminin tahmin edilmesine yönelik olarak Treme ve ark. (2026), *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua* ve aerobik bozulma bakterilerinin gelişimini yapay sinir ağlarıyla modellemiş ve farklı modeller için $R^2 = 0,847–0,929$ değerleri bildirmiştir. Çalışmada ayrıca sığır etindeki aerobik bozulma bakterilerinin gelişimine yönelik deneysel doğrulama gerçekleştirilmiştir.

4.2. Hijyen ve Kontaminasyon Kontrolü

Hayvansal gıda sanayinde ürün güvenliğinin sağlanması, yalnızca son üründeki mikrobiyolojik tehlikelerin belirlenmesine değil, üretim ortamında hijyen koşullarının korunmasına ve kontaminasyon kaynaklarının kontrol altına alınmasına da bağlıdır. Bu kapsamda YZ üretim

kayıtları, sensör verileri ve çevresel ölçümlerin analiz edilmesi yoluyla kontaminasyon risklerinin değerlendirilmesine ve önleyici tedbirlerin planlanmasına katkı sağlayabilecek bir araç olarak değerlendirilmektedir (Naseem ve Rizwan, 2025).

YZ destekli sistemlerin bir diğer kullanım alanı, Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) sistemlerinin izleme ve değerlendirme süreçleridir. Makine öğrenmesi yöntemleriyle sıcaklık, süre ve diğer işlem parametrelerine ilişkin verilerin analiz edilmesi, üretim koşullarındaki sapmaların belirlenmesine ve düzeltici faaliyetlere yönelik kararların desteklenmesine katkı sağlayabilmektedir. Revelou ve ark. (2025), hayvansal kaynaklı gıdalarda makine öğrenmesinin HACCP uygulamalarıyla bütünleştirilmesinin tehlike analizi, risk değerlendirmesi ve kritik kontrol noktalarının izlenmesi açısından potansiyel taşıdığını, ancak bu alandaki araştırmaların henüz sınırlı olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşımlar, geleneksel hijyen kontrollerinin ve HACCP uygulamalarının yerine geçmekten çok, bunları tamamlayıcı niteliktedir.

4.3. Tağşişin Belirlenmesi ve Ürün Doğrulama

Hayvansal gıdalarda tağşişin belirlenmesi ve ürün özgünlüğünün doğrulanması, tüketicinin korunması, haksız ekonomik kazancın önlenmesi ve gıda güvenilirliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Özellikle süt, et ve bal gibi ekonomik değeri yüksek ürünlerde ürün bileşiminin uygun olmayan maddelerle değiştirilmesi, daha düşük değerli ürünlerle karıştırılması veya tür ve köken bilgilerinin yanlış beyan edilmesi önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Spektroskopik yöntemler ve görüntüleme teknolojilerinden elde edilen verilerin YZ ile analiz edilmesi, tağşişin belirlenmesine ve ürün özgünlüğünün doğrulanmasına katkı sağlayabilmektedir (Chaudhary ve ark., 2022; Haider ve ark., 2024; Acharya ve ark., 2026).

Süt ve süt ürünlerinde YZ destekli analizler, ürüne ilave edilen yabancı maddelerin belirlenmesinde ve miktarlarının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Chen ve ark. (2026), süte nişasta, şeker, soya sütü tozu ve tuz ilavesini hiperspektral görüntüleme ve derin öğrenme yöntemleriyle incelemiştir. Araştırmada, tağşiş maddelerinin miktarının tahmininde iç test verileri için R^2 = 0,9904, iki farklı ticari markaya ait bağımsız doğrulama örneklerinde ise sırasıyla R^2 = 0,952 ve 0,945 değerleri elde edilmiştir. Et ürünlerinde ise farklı hayvan türlerine ait etlerin karıştırılması önemli bir tağşiş biçimidir. Leng ve ark. (2020), yakın kızılötesi spektroskopi ve kemometrik yöntemleri kullanarak sığır kıymasına domuz ve ördek eti karıştırılmasını incelemiştir. Araştırmada, ikili karışımların sınıflandırılmasında %100, üçlü karışımlarda ise %91,5 doğruluk bildirilmiştir.

Bal, tağşişin belirlenmesinde YZ destekli yöntemlerin kullanıldığı bir diğer hayvansal gıdadır. Wu ve ark. (2023), Manuka ve akasya ballarına daha düşük ekonomik değere sahip balların karıştırılma oranını Raman spektroskopisi ve derin öğrenme yöntemleriyle tahmin etmiş ve sırasıyla R^2 = 0,9016 ve R^2 = 0,9449 değerlerine ulaşmıştır. Shehata ve ark. (2024) ise uzaysal kaydırmalı Raman spektroskopisi ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak bala ilave edilen pirinç ve şeker pancarı şuruplarının miktarını sırasıyla R^2 = 0,96 ve R^2 = 0,97 değerleriyle tahmin etmiştir. Bununla birlikte, balın doğal bileşimindeki değişkenlik ve tağşiş yöntemlerinin çeşitliliği, ürün özgünlüğünün doğrulanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesini güçleştirmektedir (Schoder, 2026). Bu çalışmalar, YZ destekli yöntemlerin tağşişin belirlenmesinin yanı sıra tağşiş miktarının tahmininde de kullanılabileceğini göstermektedir.

4.4. İzlenebilirlik ve Ürün Takibi

Hayvansal gıda sanayinde izlenebilirlik, ürünlerin kaynağının belirlenmesini ve üretim, işleme, depolama ve dağıtım aşamalarına ilişkin bilgilerin takip edilmesini kapsamaktadır. YZ destekli sistemler, farklı aşamalardan elde edilen verilerin analiz edilmesi, olağan dışı durumların belirlenmesi ve ürünlerin kökeninin doğrulanması amacıyla kullanılabilmektedir. Nesnelerin

interneti (IoT), RFID ve blokzincir gibi dijital teknolojilerle bütünleştirilen bu uygulamalar, izlenebilirlik süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek yaklaşımlar sunmaktadır (Malik ve ark., 2024; Adil ve ark., 2026;).

Süt sektöründe izlenebilirlik, çiğ sütün üretiminden işlenmesine ve son ürünün dağıtımına kadar farklı aşamalarda elde edilen bilgilerin ilişkilendirilmesini gerektirmektedir. Malik ve ark. (2024), süt sektöründe izlenebilirlik üzerine 2000–2023 yılları arasında yayımlanan 85 çalışmayı değerlendirmiş ve YZ, IoT ve blokzincir teknolojilerinin ürün takibi ve veri yönetiminde kullanım olanaklarını incelemiştir. Bu teknolojiler, özellikle ürün ve parti bilgilerinin kaydedilmesi, üretim koşullarının izlenmesi ve farklı işletmeler arasında veri paylaşımının sağlanması açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte, dijital kayıt sistemlerinden elde edilen verilerin YZ ile analiz edilmesi, izleme süreçlerinde ortaya çıkabilecek uygunsuzlukların belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Et sektöründe izlenebilirliğin önemli bir boyutunu, ürünlerin coğrafi kökeninin doğrulanması oluşturmaktadır. Zong ve ark. (2025), Tibet'in dört farklı bölgesinden elde edilen 131 yak eti örneğini orta kızılötesi spektroskopisi ve makine öğrenmesi yöntemleriyle incelemiştir. Araştırmada, yapay sinir ağı modeliyle 40 örnekten oluşan test grubunda %95 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Bu bulgu, et ürünlerinin coğrafi kökeninin doğrulanmasında YZ destekli analizlerin kullanılabileceğini göstermektedir. Bunun yanında kesim, işleme ve dağıtım aşamalarına ilişkin dijital kayıtların bütünleştirilmesi, et ürünlerinin ve üretim partilerinin tedarik zinciri boyunca izlenmesi açısından önem taşımaktadır (Yumnam ve ark., 2025).

Bal sektöründe özellikle üretim kaynağı~~nın~~ ve ürün hareketlerinin izlenmesine yönelik dijital uygulamalar geliştirilmektedir. Balkrishna ve ark. (2025), GPS, barkod ve veri analitiği teknolojilerini bir araya getiren Sumadhu platformunu Hindistan'da pilot ölçekte uygulamıştır. Araştırmada, 259 arıcıya ait 46.142 kovan sisteme kaydedilmiş ve balın üretim kaynağından tedarik zincirinin sonraki aşamalarına kadar izlenmesine yönelik bir altyapı oluşturulmuştur. Çalışmada makine öğrenmesinin kullanıldığı belirtilmekle birlikte, algoritmaların performansına ilişkin ayrıntılı doğrulama sonuçları sunulmamıştır. Ancak izlenebilir balın, izlenemeyen bala göre %10–15 daha yüksek fiyatla pazarlanabildiği bildirilmiştir

Farklı dijital teknolojilerin birlikte kullanımına yönelik olarak Addou ve ark. (2023), gıda tedarik zincirinde blokzincir, IoT ve makine öğrenmesini bütünleştiren deneysel bir izlenebilirlik sistemi geliştirmiştir. Sistemde sıcaklık ve nem gibi çevresel verilerin sensörlerle toplanması, kayıtların blokzincir üzerinde saklanması ve makine öğrenmesiyle verilerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Doğrudan belirli bir hayvansal gıda üzerinde doğrulanmamış olmakla birlikte, bu yaklaşım özellikle sıcaklık koşullarına duyarlı süt ve et ürünlerinin izlenmesinde kullanılabilecek bütünleşik sistemlere örnek oluşturmaktadır. Genel olarak bu çalışmalar, YZ'nın ürünlerin coğrafi kökeninin belirlenmesinde ve izlenebilirlik verilerinin analizinde kullanılabileceğini, ancak dijital kayıt ve takip sistemlerinin tek başına YZ uygulaması olarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir.

5. İŞLEME VE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıda sanayinde işleme ve üretim süreçleri, hammadde özellikleri, sıcaklık, nem, işlem süresi ve ekipmanların çalışma koşulları gibi çok sayıda değişkenden etkilenmektedir. YZ destekli yöntemler, bu değişkenler arasındaki ilişkilerin modellenmesi, işlem sonuçlarının tahmin edilmesi ve üretim kararlarının desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle makine öğrenmesi algoritmalarıyla üretim ve sensör verilerinin analiz edilmesi, süreçlerin izlenmesine ve uygun işlem koşullarının belirlenmesine katkı sağlayabilmektedir (Rashvand ve ark., 2025).

Süt ve süt ürünleri sanayinde YZ uygulamaları, üretim verimliliğinin değerlendirilmesi, enerji kullanımının planlanması ve işleme süreçlerinde ortaya çıkan sorunların belirlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Oztuna Taner ve Çolak (2024), Türkiye'deki bir süt işleme tesisinin üretim verilerini çok katmanlı algılayıcı (MLP) yapay sinir ağıyla analiz etmiştir. Araştırmada, üretim verimliliğinin tahmininde yüksek model performansı (R^2 = 0,99984) elde edilmiştir. Ayrıca farklı üretim senaryolarının değerlendirilmesi sonucunda üretim verimliliğinin %21,2'den %38,6'ya, enerji verimliliğinin ise mevcut %45 düzeyinden %58,7'ye kadar yükseltilebileceği hesaplanmıştır. Bu değerler, işletmede fiilen gerçekleştirilen iyileştirmeleri değil, modelleme ve senaryo analizlerine dayanan potansiyel kazanımları ifade etmektedir.

Süt işleme süreçlerindeki aksaklıkların belirlenmesine yönelik olarak Jox ve ark. (2025), taze peynir üretiminde peynir altı suyunun ayrılması sırasında ortaya çıkan sorunları incelemiştir. Araştırmacılar, 87 üretim partisine ait sensör verilerini ve üretim kayıtlarını 11 farklı makine öğrenmesi algoritmasıyla değerlendirmiştir. İlk model karşılaştırmalarında en başarılı modeller için Matthews korelasyon katsayısı (MCC) 0,77 olarak bildirilmiş, sonraki analizlerde ise üretim sorunlarıyla ilişkili değişkenler daha ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Pastörizasyon sürecine yönelik olarak Hadi ve ark. (2024), sıcaklık ve pH ölçümlerini C4.5 karar ağacı algoritmasıyla değerlendiren sensör destekli bir izleme ve kontrol sistemi geliştirmiştir. Çalışmada süt kalitesinin sınıflandırılmasında yaklaşık %76,9 doğruluk bildirilmiştir. Bununla birlikte, sınıflandırma modelinin hazır bir süt kalitesi veri setiyle geliştirilmiş olması, gerçek pastörizasyon koşullarındaki performansının ayrıca doğrulanmasını gerektirmektedir.

Kırmızı et işleme sanayinde YZ, özellikle işlem sürelerinin tahmin edilmesi ve üretim planlamasının geliştirilmesi açısından araştırılmaktadır. Rakholia ve ark. (2025), gerçek bir et işleme işletmesinden elde edilen üretim kayıtlarını ve sensör verilerini XGBoost algoritmasıyla analiz ederek farklı et ürünlerinin kurutma sürelerini tahmin etmiştir. Araştırmada, tahmin edilen ve gerçekleşen kurutma süreleri arasında yüksek korelasyon (r = 0,96) elde edilmiştir. Fan hızı ve kurutma ortamına ilişkin değişkenlerin de tahminlerde etkili olması, makine öğrenmesinin üretim koşullarındaki değişkenliğin değerlendirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Shin ve Kim (2026) ise üretken YZ'nın et işleme süreçlerinde sensör verilerinin değerlendirilmesi, işlem koşullarının simülasyonu ve dijital ikiz sistemleriyle bütünleştirilmesine yönelik kullanım olanaklarını ele almıştır.

Kanatlı eti sanayinde YZ uygulamaları, karkasların üretim hattına doğru şekilde yönlendirilmesi, kesim noktalarının belirlenmesi ve parçalama işlemlerinin otomasyonuna yönelik olarak geliştirilmektedir. Bilgisayarlı görü ve derin öğrenme yöntemleri, karkasların büyüklük ve şekil bakımından gösterdiği farklılıkların değerlendirilmesine ve işleme ekipmanlarının bu değişkenliğe uyum sağlamasına katkı sunabilmektedir (O'Bryan ve ark., 2026; Tushar ve Mostafa, 2026). Lu ve ark. (2023), makine görüsü kullanarak piliç karkaslarının konum ve yönlerinin belirlenmesine yönelik geliştirdikleri yöntemde %93 başarı elde etmiştir. Chen ve ark. (2026) ise YOLO11-Pose tabanlı derin öğrenme modeli, piliç karkaslarının parçalamaya uygun kesim noktalarını belirlemiş ve mAP50-pose ile mAP50–95-pose ölçütlerinde sırasıyla %99,5 ve %83,7 performans bildirmiştir. Bu sonuçlar, otomatik kesim ve parçalama sistemlerinin geliştirilmesi açısından önem taşımakla birlikte, modellerin gerçek üretim hatlarındaki kesim başarısı ve işlem hızı bakımından ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yumurta sanayisinde YZ destekli otomasyon, ürünlerin işleme hattında incelenmesi ve kusurlu yumurtaların ayrılması amacıyla araştırılmaktadır. Nasiri ve ark. (2020), yıkanmamış yumurtaların sınıflandırılması için görüntü işleme ve derin öğrenmeye dayalı otomatik bir ayıklama sistemi geliştirmiştir. Araştırmada, sağlam, kırık veya çatlak ve kan lekeli

yumurtaların ayrımında beş katlı çapraz doğrulamayla ortalama %96,55 doğruluk elde edilmiştir. Wang ve ark. (2020) ise K-means kümeleme algoritması ve görüntü işleme yöntemlerini kullanarak yumurta kabuğundaki koyu lekelerin belirlenmesine yönelik bir sistem geliştirmiş ve deneysel sistemin saatte 3600 yumurtayı inceleyebildiğini bildirmiştir. Bu çalışmalar, görüntü analizine dayalı yöntemlerin yumurta işleme hatlarında otomatik ayıklama işlemlerine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Bal işleme sanayinde YZ yöntemleri, rafinasyon süreçlerinin izlenmesi ve işlenmiş bal ürünlerinin formülasyonlarının geliştirilmesi amacıyla araştırılmaktadır. Liu ve ark. (2026), yedi endüstriyel bal rafinasyon partisinden elde edilen 157 örneği yakın kızılötesi spektroskopi ve renk ölçümleriyle değerlendirerek nem ve hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinin işlem sırasında tahmin edilmesine yönelik modeller geliştirmiştir. Araştırmada, spektral ve renk verilerinin birlikte kullanılmasıyla HMF tahmininde R^2 = 0,98 değerine ulaşılması, bu yaklaşımın rafinasyon sürecinin izlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bahrun ve ark. (2026) ise bal tozu üretiminde farklı bileşen oranlarının ürün özellikleri üzerindeki etkilerini Random Forest, Lasso Regression ve XGBoost algoritmalarıyla incelemiştir. Çalışmada, %65 bal, %25 maltodekstrin ve %10 Arap zamkından oluşan bir formülasyon en uygun seçenek olarak önerilmiştir. Ancak önerilen formülasyonun özellikleri model tahminlerine dayandığından deneysel olarak doğrulanması gerekmektedir.

Genel olarak bu çalışmalar, YZ'nın hayvansal gıda sanayinde işlem parametrelerinin değerlendirilmesi, üretim sonuçlarının tahmin edilmesi ve otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi açısından farklı kullanım olanakları sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, modellerin yüksek tahmin başarılarının gerçek üretim koşullarında doğrudan verimlilik artışı anlamına gelmediği göz önünde bulundurulmalıdır.

6. AMBALAJLAMA VE ETİKETLEMEDE YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıda sanayinde ambalajlama ve etiketleme işlemleri, ürünlerin kalite ve güvenilirliğinin korunması, tüketicilerin doğru bilgilendirilmesi ve izlenebilirliğin sağlanması açısından önem taşımaktadır. YZ destekli yöntemler, ambalaj bütünlüğünün değerlendirilmesi, üretim sırasında oluşabilecek kusurların belirlenmesi ve etiket bilgilerinin doğrulanması amacıyla araştırılmaktadır. Bu uygulamalar, geleneksel kontrol yöntemlerini tamamlayarak ambalajlama ve etiketleme süreçlerinde daha hızlı ve nesnel değerlendirmeler yapılmasına katkı sağlayabilmektedir (Madhu, 2025).

Ambalajlama süreçlerinde YZ uygulamaları, ambalajların kapatma bölgelerindeki kusurların belirlenmesi ve sızdırmazlık özelliklerinin değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Banus ve ark. (2021), derin öğrenme ve bilgisayarlı görü yöntemlerini kullanarak termoform ambalajların kapatma bölgelerindeki kusurların otomatik olarak belirlenmesine yönelik bir sistem geliştirmiş ve yöntemi gerçek üretim ortamında da değerlendirmiştir. Pan ve ark. (2022), elektriksel kapasitans tomografisi ile otoenkoder tabanlı bir yöntemi birleştirerek ambalajların kapatma bölgelerindeki kusurların tahribatsız görüntülenmesini araştırmış ve görüntü oluşturma süresini 1,1 milisaniye olarak bildirmiştir. Garbacz ve ark. (2026) ise termal ve görünür ışık görüntülerini üretim verileriyle birlikte değerlendirerek ambalaj kapatma dayanımının tahminine yönelik bir model geliştirmiş ve en iyi modelde R^2 = 0,815 değerine ulaşmıştır. Bu çalışmalar, YZ'nın ambalajlama süreçlerinde kalite kontrolünü destekleme potansiyelini ortaya koymakla birlikte, özellikle yeni geliştirilen yöntemlerin farklı ambalaj malzemeleri ve üretim koşullarında doğrulanması gerekmektedir.

Ambalajlama süreçlerinde YZ'nın bir diğer kullanım alanı, ambalaj yüzeyindeki kusurların ve kontaminasyonun belirlenmesidir. Truong ve Luong (2024), yeniden kullanılabilir plastik gıda

kaplarında çatlak, deformasyon ve yüzey kontaminasyonunu belirlemek amacıyla otoenkoder tabanlı bir derin öğrenme sistemi geliştirmiştir. Araştırmada, görüntü düzeyinde AUROC = 0,957 ve F1 = 0,969 değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, küçük yüzey kusurlarının ve hafif renk değişimlerinin belirlenmesinde karşılaşılan güçlükler, bu tür sistemlerin farklı ambalaj koşullarında doğrulanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Etiketleme süreçlerinde YZ, özellikle ambalajlar üzerindeki tarih bilgilerinin eksik veya okunamaz olduğu durumların belirlenmesine yönelik olarak kullanılabilmektedir. Ribeiro ve ark. (2018), gıda ambalajları üzerindeki tarih bilgilerinin otomatik kontrolü amacıyla evrişimli sinir ağlarına dayalı bir yöntem geliştirmiştir. Araştırmada, tam ve eksik tarih bilgilerinin ayrımında %96,8, tarih bilgisinin bulunup bulunmadığının belirlenmesinde ise %96,2 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Bu sonuçlar, YZ destekli görüntü analizinin etiket bilgilerinin otomatik kontrolünde kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Genel olarak bu çalışmalar, YZ'nın ambalajlama ve etiketleme süreçlerinde ambalaj kusurlarının belirlenmesi, kapatma dayanımının tahmin edilmesi ve etiket bilgilerinin kontrolü bakımından farklı kullanım olanakları sunduğunu göstermektedir. Bu uygulamalar, hayvansal gıda sanayinde kalite kontrolün geliştirilmesi ve ürün güvenilirliğinin desteklenmesi açısından da önem taşımaktadır.

7. DEPOLAMA VE RAF ÖMRÜ YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıdaların depolanması sırasında meydana gelen mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel değişimler, ürün kalitesini ve raf ömrünü doğrudan etkilemektedir. Özellikle et, süt ve yumurta gibi bozulmaya duyarlı ürünlerde depolama koşullarının izlenmesi, kalite kayıplarının erken belirlenmesi ve raf ömrünün tahmin edilmesi gıda sanayisi açısından önem taşımaktadır. Geleneksel analiz yöntemleri ürün kalitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bazı yöntemler laboratuvar koşullarında analiz yapılmasını, örneklerin tahrip edilmesini ve belirli bir analiz süresini gerektirmektedir. YZ yöntemleri ise sensörler, görüntüleme sistemleri ve mikrobiyolojik analizlerden elde edilen veriler arasındaki ilişkileri modelleyerek ürünlerin tazelik durumunun belirlenmesi, kalite değişimlerinin izlenmesi ve raf ömrünün tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilmektedir (Shi ve ark., 2024).

Et ürünlerinde YZ destekli tazelik değerlendirmesine yönelik araştırmalarda, renk değişimlerine duyarlı sensörler ve görüntü işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Lin ve ark. (2024), soğutulmuş sığır etinin tazeliğini değerlendirmek amacıyla kolorimetrik sensör dizisi ile derin öğrenme algoritmalarını birleştirmiştir. Araştırmada, 4 °C'de 16 gün boyunca depolanan et örneklerinden elde edilen 3.752 sensör görüntüsü değerlendirilmiş ve ResNet34 modeliyle tazelik sınıflandırmasında %99,46 doğruluk elde edilmiştir. Wang ve ark. (2024) ise tavuk ve domuz etinin tazeliğini değerlendirmek amacıyla pH değişimine duyarlı kolorimetrik mikroiğneli bir sensörü derin öğrenme algoritmasıyla birleştirmiştir. Toplam 3.651 sensör görüntüsü kullanılarak geliştirilen sistemle et örneklerinin taze, daha az taze ve bozulmuş olarak sınıflandırılmasında yaklaşık %95,3 doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışmalar, sensör teknolojileri ile YZ'nın birlikte kullanılmasının et tazeliğinin değerlendirilmesinde önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, bildirilen başarı oranları kalan raf ömrünün gün olarak tahminine değil, ürünlerin mevcut tazelik durumlarının sınıflandırılmasına ilişkindir.

Etin depolama sürecindeki mikrobiyolojik kalitesinin değerlendirilmesinde de YZ yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Park ve ark. (2026), sığır etindeki toplam aerobik bakteri sayısını görünür ve yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme ile makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak tahmin etmiştir. Farklı et örnekleriyle gerçekleştirilen bağımsız

doğrulamada yapay sinir ağı modeli için $R^2 = 0,8593$, destek vektör regresyonu için $R^2 = 0,7988$ ve tek boyutlu evrişimli sinir ağı için $R^2 = 0,8479$ değerleri elde edilmiştir. Bu bulgular, hiperspektral görüntüleme ve YZ yöntemlerinin etin mikrobiyolojik kalitesinin tahribatsız değerlendirilmesinde kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çalışmada doğrudan raf ömrü değil, mikrobiyal yük tahmin edilmiştir.

Tazelik durumunun sınıflandırılmasının yanı sıra, YZ yöntemleri et ürünlerinin kalan raf ömrünün tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır. Elsomadi ve ark. (2026), soğukta depolanan kıyılmış tavuk etinde mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyusal ölçümlerden yararlanarak raf ömrünü tahmin etmeye yönelik makine öğrenmesi modelleri geliştirmiştir. Dört uygulama grubunda, beş farklı depolama zamanında elde edilen toplam 100 bağımsız gözlemin değerlendirildiği araştırmada, Random Forest modeliyle raf ömrü tahmininde $R^2 = 0,941$ ve ortalama mutlak hata (MAE) = 0,224 gün değerlerine ulaşılmıştır. Modelin tahminlerinde özellikle lipid oksidasyonu ve toplam aerobik bakteri sayısının etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, modelin farklı üretim partileri ve depolama koşullarından elde edilen bağımsız verilerle doğrulanmamış olması, sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır.

YZ ile raf ömrü tahminine yönelik araştırmaları değerlendiren Shi ve ark. (2024), yapay sinir ağlarının et, süt ürünleri ve yumurta dahil farklı gıda gruplarında kullanılabildiğini bildirmiştir. Derlemede, depolama sıcaklığı, mikrobiyolojik göstergeler ve fizikokimyasal kalite özellikleri gibi değişkenlerden yararlanılarak geliştirilen modellerin, depolama sürecindeki kalite değişimlerinin ve raf ömrünün tahmin edilmesine katkı sağlayabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, araştırmalarda kullanılan veri setlerinin büyüklüğü, değerlendirilen kalite göstergeleri ve model performans ölçütleri arasındaki farklılıklar, sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir.

Raf ömrü tahmin sistemlerinin gıda sanayisinde uygulanabilirliği, yalnızca modellerin tahmin başarısına değil, kullanılan yazılımların işletme koşullarına uygunluğuna da bağlıdır. Valente ve ark. (2026), et ve et ürünlerinde raf ömrü tahminine yönelik yazılımları değerlendirdikleri kapsam derlemesinde 76 tahmin platformu belirlemiş ve bunlardan 20'sini ayrıntılı olarak incelemiştir. Araştırmada, mevcut sistemlerin önemli bir bölümünün patojen mikroorganizmaların gelişimini tahmin etmeye odaklandığı; bozulma mikroflorası, tüketici kabul sınırları ve değişken depolama sıcaklıklarının ise yeterince dikkate alınmadığı bildirilmiştir. İncelenen yazılımlar yalnızca YZ tabanlı sistemlerden oluşmayıp geleneksel matematiksel mikrobiyal gelişme modellerini de kapsamaktadır. Bu bulgular, raf ömrü tahmin sistemlerinin geliştirilmesinin yanı sıra gerçek depolama koşullarında doğrulanmasının da önemini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, YZ uygulamaları hayvansal gıdaların depolanması sırasında tazelik durumunun sınıflandırılması, mikrobiyolojik kalite göstergelerinin tahmin edilmesi ve raf ömrünün öngörülmesi bakımından önemli olanaklar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu uygulamalar farklı amaçlara ve performans ölçütlerine sahiptir. Ayrıca bildirilen yüksek model başarılarının önemli bir bölümü belirli ürün grupları ve kontrollü depolama koşullarında elde edilmiştir. Bu nedenle modellerin farklı üretim partileri, ambalajlama koşulları, sıcaklık değişimleri ve ticari depolama ortamlarında bağımsız olarak doğrulanması, hayvansal gıda sanayisinde güvenilir biçimde kullanılabilmeleri açısından önem taşımaktadır.

8. TEDARİK ZİNCİRİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKTE YAPAY ZEKÂ

Hayvansal gıda sanayisinde tedarik zinciri yönetimi, hammaddenin temininden ürünlerin işlenmesi, depolanması, taşınması ve tüketiciye ulaştırılmasına kadar uzanan süreçleri kapsamaktadır. Et, süt ve diğer hayvansal gıdaların bozulabilir nitelikte olması, üretim ve

dağıtım miktarlarının talebe uygun planlanmasını, soğuk zincirin korunmasını ve ürün hareketlerinin izlenmesini önemli hâle getirmektedir. Bu süreçlerde YZ, geçmiş satış ve üretim verilerinden yararlanarak talep değişimlerinin tahmin edilmesi, stok ve dağıtım kararlarının desteklenmesi ve tedarik zincirindeki olası aksaklıkların belirlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Ayrıca stok fazlasının ve ürün kayıplarının azaltılmasına yönelik uygulamalar, kaynakların daha verimli kullanılması ve gıda israfının önlenmesi bakımından sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilmektedir.

Hayvansal gıda sanayinde YZ yöntemleri, ürün talebinin tahmin edilmesi ve stok yönetiminin desteklenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Pakbin ve ark. (2025), İran'daki bir süt ürünleri işletmesinde tam yağlı süt, Labneh peyniri ve yoğurt talebini çok katmanlı yapay sinir ağıyla tahmin etmiş ve tahminlerin gerçekleşen talep değerleriyle genel olarak uyumlu olduğunu bildirmiştir. Obaidat ve ark. (2025) ise Ürdün'deki bir süt ürünleri işletmesinde altı ürünün günlük talebini SARIMAX ve XGBoost modelleriyle değerlendirmiş; ortalama tahmin doğruluklarını sırasıyla %94,27 ve %92,99 olarak belirlemiştir. Araştırmada, talep tahminlerinin iyileştirilmesiyle stok maliyetlerinin ve ürün kayıplarının azaltılabileceği öngörülmüştür. Bu bulgular, talep tahminine dayalı yöntemlerin süt ürünleri sanayinde üretim ve stok planlamasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Talep tahmininin yanı sıra üretim miktarlarının öngörülmesi de tedarik zincirinin planlanması açısından önem taşımaktadır. Gür (2024), Türkiye'de Ocak 2010–Eylül 2023 dönemine ait 165 aylık veriden yararlanarak inek sütünden peynir üretim miktarını farklı makine öğrenmesi ve derin öğrenme modelleriyle tahmin etmiştir. Araştırmada LSTM modeli, test verilerinde R^2 = 0,9919 ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) = %0,71 değerleriyle incelenen modeller arasında en başarılı sonucu vermiştir. Bu tür modeller, süt sanayisinde üretim eğilimlerinin öngörülmesi ve hammadde temini ile kapasite planlamasına yönelik kararların desteklenmesi açısından kullanılabilecek veri temelli araçlar sunmaktadır.

Tedarik zincirinde YZ'nın bir diğer kullanım alanı, üretim ve dağıtım kararlarının optimizasyonudur. Ping (2025), et tedarik zincirinin planlanmasına yönelik olarak K-means kümeleme yöntemi ile çok amaçlı balina optimizasyon algoritmasını birleştiren hibrit bir model geliştirmiştir. Sayısal deneylerde önerilen yöntem, büyük ölçekli problemlerde NSGA-II algoritmasına göre çözüm süresini yaklaşık %18,7 azaltmış ve çözüm kalitesini değerlendiren hipervolüm göstergesinde daha yüksek performans sergilemiştir. Bu bulgular, hibrit optimizasyon yöntemlerinin et tedarik zincirinde maliyetlerin ve teslimat sürelerinin birlikte değerlendirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, sonuçların büyük ölçüde simülasyon verilerine dayanması, yöntemin gerçek işletme koşullarındaki performansının ayrıca değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Soğuk zincirin korunması, hayvansal gıdaların taşınması ve dağıtımı sırasında kalite ve güvenliğin sürdürülebilmesi açısından temel gerekliliklerden biridir. Turgut ve ark. (2025), dondurulmuş tavuk eti ve ürünlerinde soğuk zincir kesintilerinin belirlenmesi amacıyla düşük maliyetli multispektral sensör verilerini makine öğrenmesi yöntemleriyle değerlendirmiştir. Araştırmada soğuk zincir kesintisinin belirlenmesinde %93, ürün tipinin sınıflandırılmasında %92 ve çözdürme–yeniden dondurma işlemi sonrasındaki depolama süresinin sınıflandırılmasında %83 doğruluk elde edilmiştir. Bu bulgular, multispektral sensörler ile YZ'nın birlikte kullanılmasının soğuk zincir kesintilerinin ve ürünlerin geçmiş depolama koşullarının değerlendirilmesinde kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Tedarik zincirinde izlenebilirliğin geliştirilmesi amacıyla YZ'nın blokzincir, nesnelerin interneti ve dijital ikiz teknolojileriyle bütünleştirilmesi de araştırılmaktadır. Yadav ve ark. (2026), hayvan sağlığının izlenmesi ile et tedarik zincirindeki ürün hareketlerinin takibini

birleştiren açıklanabilir YZ ve blokzincir tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Araştırmacılar, 24 sanal işletmede 2.400 sığır ve 18.600 sevkiyatı kapsayan simülasyonda hastalık tespitinde %97,3 doğruluk, izlenebilirlik sorgularında ise %99,1 geri çağırma oranı elde etmiştir. Bununla birlikte, veri gizliliğine yönelik daha sıkı koruma koşullarında hastalık tespit doğruluğu %94,3'e düşmüştür. Bu bulgular, bütünleşik dijital sistemlerin hayvan sağlığı ve tedarik zinciri kayıtlarının birlikte değerlendirilmesinde kullanılma potansiyelini ortaya koymakla birlikte, gerçek işletme koşullarında doğrulanmalarının gerekli olduğunu göstermektedir.

YZ destekli talep tahmini, stok planlaması, lojistik optimizasyonu, soğuk zincir denetimi ve izlenebilirlik uygulamaları, hayvansal gıda tedarik zincirinin daha etkin yönetilmesine yönelik birbirini tamamlayan araçlar sunmaktadır. Üretim ve dağıtım kararlarının veri temelli olarak alınması, gereksiz stokların ve ürün kayıplarının azaltılması ile kaynakların daha verimli kullanılması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu yönüyle YZ, hayvansal gıda sanayisinde ekonomik verimlilik ile çevresel sürdürülebilirliğin birlikte ele alınmasına katkı sağlayabilecek teknolojiler arasında yer almaktadır.

9. UYGULANABİLİRLİK VE TEMEL SINIRLILIKLAR

Hayvansal gıda sanayisinde YZ uygulamalarının yaygınlaşması, geliştirilen modellerin yüksek doğruluk oranlarına ulaşmasının yanı sıra gerçek üretim koşullarında güvenilir ve ekonomik biçimde kullanılabilmesine bağlıdır. Süt, et, kanatlı eti, yumurta ve bal gibi ürünlerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri arasındaki farklılıklar, belirli bir ürün veya işletme için geliştirilen modellerin farklı koşullara genellenebilirliğini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle laboratuvar ortamında veya sınırlı veri setleriyle elde edilen yüksek model başarıları, endüstriyel uygulanabilirliğin doğrudan göstergesi olarak değerlendirilmemelidir (Bisht ve ark., 2026; Saindhaw ve Kumar, 2026).

YZ sistemlerinin geliştirilmesinde karşılaşılan temel güçlüklerden biri, yeterli miktarda, güvenilir ve temsil gücü yüksek veriye erişimdir. Özellikle gözetimli makine öğrenmesi ve derin öğrenme uygulamalarında verilerin uygun biçimde etiketlenmesi önemli ölçüde zaman, uzmanlık ve insan emeği gerektirmektedir (Bidyalakshmi ve ark., 2025). Hayvansal gıdalarda hammadde bileşiminin, işleme koşullarının, depolama süresinin ve ölçüm yöntemlerinin değişmesi de model performansını etkileyebilmektedir. Mia ve ark. (2026), yakın kızılötesi spektroskopiye dayalı gıda analizlerinde cihazlar, üretim partileri ve ölçüm koşulları arasındaki farklılıkların modellerin farklı koşullara aktarılabilirliğini sınırlayabildiğini belirtmiştir. Bu nedenle modellerin yalnızca geliştirme aşamasında kullanılan verilerle değil, farklı zamanlarda ve üretim partilerinde elde edilen bağımsız veri setleriyle de doğrulanması gerekmektedir.

Teknik sınırlılıkların yanında yatırım ve işletme maliyetleri de YZ uygulamalarının yaygınlaşmasında önemli engeller arasındadır. Kamera, sensör, spektrometre, veri işleme altyapısı ve yazılımların temin edilmesi ile sistemlerin kurulumu, kalibrasyonu, bakımı ve güncellenmesi işletmelere ek maliyetler getirebilmektedir. Ayrıca mevcut üretim hatlarıyla bütünleşme ve nitelikli personel gereksinimi, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından uygulamaları güçleştirebilmektedir (Canatan ve ark., 2025; Nayeem ve ark., 2025). Bu nedenle YZ yatırımlarının değerlendirilmesinde yalnızca model performansının değil, yatırım ve işletme giderleri ile sağlanabilecek ekonomik yararların birlikte dikkate alınması önem taşımaktadır.

İşletmelerin teknolojiyi benimseme düzeyi de YZ uygulamalarının yaygınlaşmasında belirleyicidir. Kurdyś-Kujawska ve ark. (2025), Polonya gıda sanayisine ilişkin 2021 ve 2024 verilerini karşılaştırdıkları çalışmada, YZ kullanan işletmelerin oranının %2,1'den %3,6'ya yükseldiğini, ancak kullanım düzeyinin hâlen düşük olduğunu bildirmiştir. Araştırmada

personel ve bilgi eksikliği, yüksek maliyetler ve mevcut altyapıyla uyumsuzluk başlıca engeller arasında gösterilmiştir. Zavodna ve ark. (2024) ise Çekya ve Avusturya'da farklı sektörlerden katılımcılarla gerçekleştirdikleri 22 uzman görüşmesinde güven eksikliği, bilgi yetersizliği, altyapı sorunları ve kaynak kısıtlarını öne çıkarmıştır. Bu bulgular, YZ uygulamalarının yaygınlaştırılmasında teknolojik yatırımların personel eğitimi, yönetim desteği ve işletmeye uygun uygulama planlarıyla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Gıda güvenliği açısından YZ sistemlerinin kararlarının açıklanabilirliği, izlenebilirliği ve denetlenebilirliği ayrıca önem taşımaktadır. Hatalı sınıflandırmaların veya tahminlerin ürün güvenliği üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilmesi nedeniyle modellerin performansı yalnızca genel doğruluk oranlarıyla değerlendirilmemeli; hata türleri, bağımsız doğrulama sonuçları ve uygulamanın risk düzeyi de dikkate alınmalıdır. Hussein ve ark. (2026), gıda işleme ve muhafazasında YZ uygulamalarının yaygınlaşması için teknik güvenilirliğin yanı sıra veri bütünlüğü, karar süreçlerinin şeffaflığı ve düzenleyici gerekliliklerin de ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çerçevede YZ sistemleri, mevcut hijyen kontrollerinin, laboratuvar analizlerinin ve gıda güvenliği yönetim süreçlerinin yerine geçen bağımsız mekanizmalar olarak değil, bu süreçleri destekleyen araçlar olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak hayvansal gıda sanayisinde YZ'nın uygulanabilirliği, modellerin farklı koşullardaki güvenilirliği, beklenen ekonomik yararları, mevcut sistemlerle bütünleşmesi ve işletmelerin teknik kapasitesi birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Bu teknolojilerin yaygınlaşabilmesi için kontrollü koşullarda elde edilen yüksek model performanslarının gerçek üretim ortamlarında doğrulanmasına ve sağlanan yararların ölçülebilir biçimde ortaya konulmasına öncelik verilmelidir.

Hayvansal gıda sanayinde YZ uygulamalarının yaygınlaşmasını sınırlandıran başlıca etkenler ve bu sınırlılıkların giderilmesine yönelik olası çözüm yaklaşımları Tablo 1'de özetlenmiştir

Tablo 1. Hayvansal gıda sanayinde YZ uygulamalarının başlıca sınırlılıkları ve olası çözüm yaklaşımları

Sınırlılıklar	**Olası çözüm yaklaşımları**
Veri kalitesinin düşük ve veri miktarının yetersiz olması	Standart veri toplama ve etiketleme yöntemlerinin geliştirilmesi
Modellerin farklı ürün ve işletmelere genellenebilirliğinin sınırlı olması	Farklı ürün, üretim partisi ve işletme koşullarında bağımsız doğrulama yapılması
Yüksek yatırım ve işletme maliyetleri	Maliyet–fayda analizlerinin yapılması ve ölçeklenebilir sistemlerin geliştirilmesi
Teknik altyapı yetersizlikleri ve uzman personel gereksinimi	Mevcut sistemlerle bütünleşmenin sağlanması, kullanıcı dostu çözümler ve personel eğitimi
Veri güvenliği, mahremiyet ve sahiplik sorunları	Veri sahipliği ve erişim yetkilerinin tanımlanması, güvenli veri yönetimi
YZ kararlarının yeterince açıklanamaması	Açıklanabilir YZ yöntemlerinin kullanılması
Mevzuat ve standartlara uyum güçlükleri	Gıda güvenliği mevzuatı ve ilgili standartlarla uyumlu doğrulama ve denetim süreçlerinin geliştirilmesi

10. GELECEĞE YÖNELİK GELİŞMELER VE BEKLENTİLER

Hayvansal gıda sanayisinde YZ uygulamalarının geleceğinde, farklı ölçüm teknolojilerinden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi önemli bir gelişme alanı olarak öne çıkmaktadır.

Görüntüleme, spektroskopi, elektronik burun ve diğer sensör sistemlerinden elde edilen verilerin YZ yöntemleriyle bütünleştirilmesi, süt, kırmızı et, kanatlı eti, yumurta ve bal gibi ürünlerin kalite ve güvenlik özelliklerinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Çok kaynaklı veri bütünleştirme yaklaşımı, tek bir ölçüm yöntemiyle belirlenmesi güç olan kalite değişimlerinin ortaya koyulması ve ürün özelliklerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır (Zatsu ve ark., 2024; Bisht ve ark., 2026; Xu ve ark., 2026).

Gelecekte YZ sistemlerinin, mevcut kalite özelliklerinin belirlenmesi ve tahmin edilmesinin ötesinde, üretim ve muhafaza süreçlerine yönelik kararları destekleyen bütünleşik sistemler olarak geliştirilmesi beklenmektedir. Üretim, işleme, ambalajlama ve depolama aşamalarından sürekli veri elde edilmesi, kalite kayıplarının, mikrobiyolojik bozulmanın ve kalan raf ömrünün değişen koşullara göre tahmin edilmesine olanak sağlayabilir. Pardo ve ark. (2025), peynir üretiminde makine öğrenmesi uygulamalarını değerlendirdikleri derlemede, farklı üretim aşamalarından elde edilen verilerin birlikte kullanılmasını ve modellerin gerçek zamanlı proses izleme ve kontrol sistemleriyle bütünleştirilmesini gelecekteki araştırmalar açısından önemli görmüştür. Özellikle et ve süt ürünlerinde tahmin sonuçlarının üretim ve muhafaza kararlarıyla ilişkilendirilmesi, olası sorunların erken belirlenmesine ve ürün kayıplarının azaltılmasına katkıda bulunabilir (Hussein ve ark., 2026).

Dijital ikiz ve uç YZ teknolojileri de hayvansal gıda sanayisinin geleceğinde önem kazanabilecek yaklaşımlar arasındadır. Fiziksel üretim süreçlerinin dijital ortamda temsil edilmesine dayanan dijital ikizler, üretim verilerinin izlenmesi, farklı işlem koşullarının değerlendirilmesi ve kararların desteklenmesi amacıyla kullanılabilir. Guennoc ve ark. (2024), süt üreticileri ve işleyicileri için kalite ve izlenebilirlik verilerinin gerçek zamanlı değerlendirilmesini hedefleyen bir dijital ikiz tasarımını ele almıştır. Diğer taraftan, verilerin üretim hattına yakın cihazlarda işlenmesini sağlayan uç YZ, merkezi sistemlere sürekli veri aktarımı gereksinimini ve buna bağlı gecikmeleri azaltarak kalite kontrol süreçlerinde daha hızlı değerlendirme yapılmasına katkı sağlayabilir. Hutsalyuk (2026), un değirmenlerinde kalite kontrolüne yönelik uç bilişim tabanlı bir sistem önererek bu yaklaşımın gıda sanayisindeki kullanım olanaklarını değerlendirmiştir. Her iki teknoloji de hayvansal gıda sanayisinde üretim süreçlerinin izlenmesi ve değişen koşullarda kararların desteklenmesi açısından potansiyel taşımaktadır.

YZ'nın robotik sistemler, otomasyon teknolojileri ve akıllı ambalajlarla bütünleşmesi, hayvansal gıda üretiminin daha kapsamlı biçimde yönetilmesine yönelik önemli gelişme alanlarından biridir. Hammadde kabulünden işleme ve ambalajlamaya kadar farklı aşamalarda elde edilen kalite kontrol sonuçlarının üretim sistemlerine aktarılması, işlem parametrelerinin değişen koşullara göre düzenlenmesine katkı sağlayabilir. Yu ve ark. (2026), et ürünlerinin muhafazasında YZ'nın akıllı ambalajlar, soğuk zincir izleme ve raf ömrü tahmin sistemleriyle bütünleştirilmesini önemli gelişme alanları arasında değerlendirmiştir. Akıllı ambalajlardan ve depolama ortamından elde edilen veriler, ürünlerin güncel kalite durumlarına göre muhafaza koşullarının düzenlenmesi ve dağıtım önceliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu tür bütünleşik uygulamalar, kalite kontrol sonuçlarının yalnızca ürünlerin değerlendirilmesinde değil, üretim ve dağıtım süreçlerine yönelik kararların desteklenmesinde de kullanılmasına olanak sağlayabilir (Bidyalakshmi ve ark., 2025; Hussein ve ark., 2026).

11. SONUÇ

YZ teknolojileri, hayvansal gıda sanayisinde kalite kontrol, gıda güvenliği, üretim süreçlerinin yönetimi, ambalajlama, depolama ve tedarik zinciri gibi farklı alanlarda önemli kullanım

olanakları sunmaktadır. Görüntüleme, spektroskopi ve sensör teknolojilerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle birlikte kullanılması, süt, kırmızı et, kanatlı eti, yumurta ve bal gibi ürünlerin kalite özelliklerinin değerlendirilmesine, olası uygunsuzlukların belirlenmesine ve üretim süreçlerinin izlenmesine katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, bu uygulamaların önemli bir bölümü araştırma veya sınırlı ölçekli deneme aşamasında olup, bildirilen yüksek başarı oranlarının doğrudan endüstriyel koşullara aktarılması her zaman mümkün değildir.

YZ'nın hayvansal gıda sanayisinde yaygınlaşması, yalnızca geliştirilen modellerin tahmin veya sınıflandırma başarısına değil, farklı ürün ve işletme koşullarında güvenilir sonuçlar vermesine de bağlıdır. Veri kalitesi, teknik altyapı, yatırım ve işletme maliyetleri, personelin teknolojiye uyumu ve mevcut üretim sistemleriyle bütünleşme, bu süreçte belirleyici unsurlardır. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından ekonomik uygulanabilirliğin ortaya konulması ve sistemlerin gerçek üretim koşullarında doğrulanması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, YZ'nın hayvansal gıda sanayisine sağlayabileceği başlıca katkılar, üretim süreçlerinin daha etkin izlenmesi, kalite ve güvenlik risklerinin daha erken belirlenmesi ve kaynak kullanımının iyileştirilmesidir. Bu potansiyelin somut kazanımlara dönüşebilmesi için farklı hayvansal ürünlerde ve gerçek işletme koşullarında gerçekleştirilecek uygulamalı araştırmalara, ekonomik değerlendirmelere ve gıda sanayisi ile araştırma kuruluşları arasındaki iş birliğinin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

Acharya BS, Nair S, Salam, AA. (2026). Quality analysis and detection of adulterants and contaminations in milk/milk powder by Raman spectroscopy. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 25, e70403. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70403

Addou K, El Ghoumari M Y, Achkdir S, Azzouazi M. (2023). A decentralized model to ensure traceability and sustainability of the food supply chain by combining blockchain, IoT, and machine learning. Mathematical Modeling and Computing, 10(2), 498–510. https://doi.org/10.23939/mmc2023.02.498

Adil M, Fan Y, Xiao X, Zou Y, Ren J, Manzoor MF. (2026). Artificial intelligence and machine learning: Shaping the future of food safety, quality control, traceability systems, and nutrition. Food Reviews International, 42(5), 3802–3833. https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2612241

Bahrun EKP, Jaya F, Nugraheni E, Sustika R. (2026). Progressive multi-target optimization with quality gates (PMTO-QG) using machine learning classifier for formulation optimization and physical quality of honey powder. BIO Web of Conferences, 218, 03007. https://doi.org/10.1051/bioconf/202621803007

Balkrishna A, Agarwal U, Rana A, Arya V. (2025). Precision apiculture system: Honey traceability from hive to spoon. Journal of Apicultural Research, 64(5), 1362–1371. https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2435223

Banús N, Boada I, Xiberta P, Toldrà P, Bustins N. (2021). Deep learning for the quality control of thermoforming food packages. Scientific Reports, 11, 21887. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01254-x

Bidyalakshmi T, Jyoti B, Mansuri SM, Srivastava A, Mohapatra D, Kalnar YB, Narsaiah K, Indore N. (2025). Application of artificial intelligence in food processing: Current status and future prospects. Food Engineering Reviews, 17, 27–54. https://doi.org/10.1007/s12393-024-09386-2

Bisht A, Hussain M, Zhou X, McClements DJ, Chen L, Ponnusamy A, Benjakul S, Jin Z. (2026). Transforming food systems with artificial intelligence and machine learning: Innovations, challenges and future directions in food safety, quality, and nutrition. Clean Technologies and Environmental Policy, 28, Article 229. https://doi.org/10.1007/s10098-026-03579-5

Cai J, Lu Y, Olaniyi E, Wang S, Dahlgren C, Devost-Burnett D, Dinh T. (2024). Beef marbling assessment by structured-illumination reflectance imaging with deep learning. Journal of Food Engineering, 369, 111936. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.111936

Canatan M, Alkhulaifi N, Watson N, Boz Z. (2025). Artificial intelligence in food manufacturing: A review of current work and future opportunities. Food Engineering Reviews, 17, 189–219. https://doi.org/10.1007/s12393-024-09395-1

Chaudhary V, Kajla P, Dewan A, Pandiselvam R, Socol CT, Maerescu CM. (2022). Spectroscopic techniques for authentication of animal origin foods. Frontiers in Nutrition, 9, 979205. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.979205

Chen C, Li X, Liu J, Bao A. (2026). Rapid and nondestructive quantitative detection of milk adulteration using

hyperspectral imaging and optimized LSTM modeling. Journal of Food Measurement and Characterization, 20, 12043–12053. https://doi.org/10.1007/s11694-026-04454-z
Chen Y, Lu Y, Xu C, Zhu Z, Wen K, Fu D, Hu Z, Liu Z, Ai H. (2026). Research on cutting keypoint detection of chicken carcasses based on improved YOLO11-Pose. Poultry Science, 105, 106517. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106517
Chhetri KB. (2024). Applications of artificial intelligence and machine learning in food quality control and safety assessment. Food Engineering Reviews, 16, 1–21. https://doi.org/10.1007/s12393-023-09363-1
Dimakopoulou-Papazoglou D, Serrano S, Rodríguez I, Ploskas N, Koutsoumanis K, Katsanidis E. (2025). FTIR spectroscopy combined with machine learning for the classification of Mediterranean honey based on origin. Journal of Food Composition and Analysis, 144, 107778. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107778
Elsomadi E, Ben Akacha B, Kukula-Koch W, Baazaoui N, Michalak M, Kačániová M, ... Ben Hsouna A. (2026). Natural Preservation of Refrigerated Chicken Meat Using Asphodelus microcarpus Root Extract With Machine-Learning-Based Shelf-Life Prediction. *eFood*, *7*(5), e70208. https://doi.org/10.1002/efd2.70208
Garbacz P, Burghardt A, Czajka P, Mężyk J, Mizak W. (2026). Predictive modeling of packaging seal strength: A hybrid vision and process data approach for non-destructive quality assurance. Applied Sciences, 16(2), 923. https://doi.org/10.3390/app16020923
Ghazali R, Abdul Rahim H, Zulkifli SN. (2025). Predicting the tenderness of broiler breast fillets using visible/near-infrared spectroscopy and machine learning algorithms. Jurnal Teknologi, 87(4), 741–748. https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v87.22999
Guennoc F, Kamoise N, Guerin C, Julien N. (2024). Integrating ergonomics into the early stages of Digital Twin design: From the design of a Digital Twin for short-distance dairy producers to the definition of a generic and tool-based method. Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE 2024), 7 pages. https://doi.org/10.1145/3673805.3673826
Gür YE. (2024). Innovation in the dairy industry: Forecasting cow cheese production with machine learning and deep learning models. International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 8(2), 327–346. https://doi.org/10.31015/jaefs.2024.2.9
Hadi MS, Sugiono BSR, Mizar MA, Witjoro A, Irvan M. (2024). Enhancing low-temperature long-time milk pasteurization process with a C4.5 algorithm-driven AIoT system for real-time decision-making. Journal of Food Process Engineering, 47, e14606. https://doi.org/10.1111/jfpe.14606
Haider A, Iqbal SZ, Bhatti IA, Alim MB, Waseem M, Iqbal M, Khaneghah AM. (2024). Food authentication, current issues, analytical techniques, and future challenges: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23, e13360. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13360
Hussein JB, Workneh TS, Kassim A, Ntsowe K, Melesse SF, El-Mesery HS. (2026). Exploring trends and future developments in the application of artificial intelligence in food processing and preservation. Food Engineering Reviews, 18, Article 16. https://doi.org/10.1007/s12393-026-09445-w
Hutsalyuk A. (2026). Implementation of intelligent quality control systems at flour mills in Ukraine. Computer Systems and Information Technologies, (2). https://doi.org/10.31891/csit-2026-2-8
Jiang W, Liu C, Liu W, Zheng L. (2025). Advancements in intelligent sensing technologies for food safety detection. Research, 8, 0713. https://doi.org/10.34133/research.0713
Jox D, Borsum C, Hummel D, Hinrichs J, Krupitzer C. (2025). Enhancing dairy processing with machine learning and domain knowledge: A combined analysis of offline and time series data. Journal of Food Engineering, 391, 112423. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112423
Kakani V, Nguyen VH, Kumar BP, Kim H, Pasupuleti VR. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. Journal of Agriculture and Food Research, 2, 100033. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100033
Kang Z, Zhao Y, Chen L, Guo Y, Mu Q, Wang S. (2022). Advances in machine learning and hyperspectral imaging in the food supply chain. Food Engineering Reviews, 14, 596–616. https://doi.org/10.1007/s12393-022-09322-2
Kim YJ, Kwon HC, Cha JY, Lee S, Kim TK, Kang MC, Park MK, Choi YS. (2026). Machine learning–based prediction and quality control of meat and meat products: Applications for intelligent quality management in the meat industry. Food Science of Animal Resources, 46, Article 85. https://doi.org/10.1007/s44463-026-00085-6
Kurdyś-Kujawska A, Zarębski P, Chamier-Gliszczyński N. (2025). Artificial intelligence in the food industry: Adoption, technologies, barriers – The example of Poland. Procedia Computer Science, 270, 5416–5425. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.10.009
Lee JH, Yu J, Li X, Kim DJ, Park S. (2025). Comprehensive non-destructive assessment of beef quality: Focus on textural feature analysis and tenderness using AI and hyperspectral imaging. LWT, 231, 118322. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118322

Leng T, Li F, Xiong L, Xiong Q, Zhu M, Chen Y. (2020). Quantitative detection of binary and ternary adulteration of minced beef meat with pork and duck meat by NIR combined with chemometrics. Food Control, 113, 107203. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107203

Liakos KG, Athanasiadis V, Bozinou E, Lalas SI. (2025). Machine learning for quality control in the food industry: A review. Foods, 14(19), 3424. https://doi.org/10.3390/foods14193424

Lin Y, Ma J, Cheng JH, Sun DW. (2024). Visible detection of chilled beef freshness using a paper-based colourimetric sensor array combining with deep learning algorithms. *Food Chemistry*, *441*, 138344. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138344

Liu D, Xu G, Qiao B, Tang Y, Zhou J, Zang H, Huang P. (2026). Interpretable multimodal fusion of near-infrared spectroscopy and color features for online monitoring of honey refining process. Food Chemistry, 529, 151197. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.151197

Liu Z, Li H, Liu N, Liu C, Sun X, Chen L. (2025). A machine learning approach fusing multisource spectral data for prediction of floral origins and taste components of Apis cerana honey. Food Research International, 208, 116102. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116102

Lu J, Lee KM, Ji J. (2023). Color machine vision design methodology of a part-presentation algorithm for automated poultry handling. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 28(3), 1222–1233. https://doi.org/10.1109/TMECH.2022.3218529

Madhu B. (2025). AI-driven food packaging systems: A new frontier in intelligent food safety and shelf-life management. Journal of Food Science, 90(12), e70716. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70716

Malik M, Gahlawat VK, Mor RS, Singh MK. (2024). Unlocking dairy traceability: Current trends, applications, and future opportunities. Future Foods, 10, 100426. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100426

Meenakshi PL, Keener K, Sunoj S, Manickavasagan A. (2026). Effect of machine learning techniques to detect Listeria monocytogenes in Queso fresco using shortwave-infrared imaging. Food Control, 180, 111619. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111619

Mhapsekar R, Kilbane D, Davy S, Abraham L, Fenelon M, O'Shea N. (2025). A systematic review of the internet of things and artificial intelligence applications in milk quality monitoring and analysis. International Journal of Dairy Technology, e70049. https://doi.org/10.1111/1471-0307.70049

Mia N, Hashem MA. (2026). Machine learning versus laboratory metrics: A dual approach to fresh and frozen lamb meat assessment. Journal of Food Composition and Analysis, 150, 108869. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.108869

Mia N, Hashem MA, Halim MA, Tariq S, Ahamed Z. (2026). Application of NIR spectroscopy with machine learning in the food industry: A comprehensive review. Food Physics, 3, 100089. https://doi.org/10.1016/j.foodp.2026.100089

Mu F, Gu Y, Zhang J, Zhang L. (2020). Milk Source Identification and Milk Quality Estimation Using an Electronic Nose and Machine Learning Techniques. Sensors, 20, 4238. https://doi.org/10.3390/s20154238

Murphy SP, Allen LH. (2003). Nutritional importance of animal source foods. The Journal of Nutrition, 133(11 Suppl 2), 3932S–3935S. https://doi.org/10.1093/jn/133.11.3932S

Naseem S, Rizwan M. (2025). The role of artificial intelligence in advancing food safety: A strategic path to zero contamination. Food Control, 175, 111292. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111292

Nasiri A, Omid M, Taheri-Garavand A. (2020). An automatic sorting system for unwashed eggs using deep learning. Journal of Food Engineering, 283, 110036. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110036

Nayeem M, Rahman MH, Rhman MA, Haque MN, Hashem MA. (2025). Advancing the meat industry with machine learning: A study of progress, challenges, and potential. Meat Research, 5(2), Article 113. https://doi.org/10.55002/mr.5.2.113

Noviyanto A, Abdulla WH. (2020). Honey botanical origin classification using hyperspectral imaging and machine learning. Journal of Food Engineering, 265, 109684. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109684

Obaidat M, Almomani HA, Mallouhy R, Almotari A, Al Meanazel OT. (2025). A hybrid machine learning framework for daily dairy demand forecasting: Integrating SARIMAX and XGBoost for seasonal production optimization. IEEE Access, 13, 162668–162680. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3610316

Olaniyi EO, Kucha C. (2025). Advances in precision systems based on machine vision for meat quality detection. Food Engineering Reviews, 17, 809–834. https://doi.org/10.1007/s12393-025-09404-x

Olaniyi EO, Lu Y, Zhang X, Sukumaran AT, Thames HT, Pokhrel D. (2024). Non-destructive assessment of microbial spoilage of broiler breast meat using structured illumination reflectance imaging with machine learning. *Food Analytical Methods*, *17*(5), 652-663. https://doi.org/10.1007/s12161-024-02605-w

Oztuna Taner O, Çolak AB. (2024). Dairy factory milk product processing and sustainable of the shelf-life extension with artificial intelligence: A model study. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1344370.

https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1344370
O'Bryan CA, Muraleetharan K, Hettiarachchy NS, Crandall PG. (2026). Integrating worker and food safety in poultry processing through human-robot collaboration: A comprehensive review. Foods, 15, 294. https://doi.org/10.3390/foods15020294
Pakbin M, Rahmati Ghofrani Y, Shahroodi K. (2025). Forecasting demand and optimizing the ordering of goods in the supply chain using artificial intelligence in Kaleh Company. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 16(12), 29–40. https://doi.org/10.22075/ijnaa.2023.31695.4797
Pan J, Yang Z, Yap SHK, Zhang X, Xu Z, Li Y, Luo Y, Zamburg E, Liu EX, Tham CK, Thean AVY. (2022). Non-destructive online seal integrity inspection utilizing autoencoder-based electrical capacitance tomography for product packaging assurance. Food Packaging and Shelf Life, 33, 100919. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100919
Pardo D, Castillo M, Mulayim MO, Cerquides J. (2025). Machine learning in cheese-making: Methods, applications, and the future. Food Engineering Reviews, 17, 505–531. https://doi.org/10.1007/s12393-025-09420-x
Park S, Hong SJ, Lee CH, Kim E, Kim SY, Jo C, Kim G. (2026). Non-destructive evaluation of microbial quality of beef (M. longissimus thoracis muscle) using visible/NIR hyperspectral imaging and machine learning methods. Journal of Animal Science and Technology, 68(1), 290–305. https://doi.org/10.5187/jast.2024.e110
Ping H. (2025). A hybrid machine learning and whale optimization algorithm for designing resilient and robust meat supply chains under uncertainty. Annals of Operations Research. https://doi.org/10.1007/s10479-025-06914-z
Prache S, Adamiec C, Astruc T, Baéza-Campone E, Bouillot PE, Clinquart A. (2022). Review: Quality of animal-source foods. Animal, 16(S1), 100376. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100376
Rakholia R, Suárez-Cetrulo AL, Singh M, Carbajo RS. (2025). AI-driven meat food drying time prediction for resource optimization and production planning in smart manufacturing. IEEE Access, 13, 22420–22428. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3534918
Rashvand M, Dehkharghanian N, Nikzadfar M, Javed T, Luke LP, O'Brien A, Shenfield A, Genovese F, Matera A, Altieri G, Di Renzo GC, Zhang H. (2025). Machine learning-driven optimization for digital transformation in non-thermal food processing. Food and Bioprocess Technology, 18, 10283–10316. https://doi.org/10.1007/s11947-025-04078-z
Revelou PK, Tsakali E, Batrinou A, Strati IF. (2025). Applications of machine learning in food safety and HACCP monitoring of animal-source foods. Foods, 14(6), 922. https://doi.org/10.3390/foods14060922
Rho TG, Cho BK. (2024). Non-destructive evaluation of physicochemical properties for egg freshness: A review. Agriculture, 14(11), 2049. https://doi.org/10.3390/agriculture14112049
Ribeiro FDS, Caliva F, Swainson M, Gudmundsson K, Leontidis G, Kollias S. (2018). An adaptable deep learning system for optical character verification in retail food packaging. 2018 IEEE International Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS), 1–8. https://doi.org/10.1109/EAIS.2018.8397178
Saindhaw S, Kumar P. (2026). Artificial intelligence in the food sector: A review of techniques, applications, and barriers to realization. Current Food Science and Technology Reports, 4, Article 16. https://doi.org/10.1007/s43555-026-00092-0
Schoder D. (2026). Honey fraud as a moving analytical target: Omics-informed authentication within a multi-layer analytical framework. Foods, 15(4), 712. https://doi.org/10.3390/foods15040712
Shehata M, Dodd S, Mosca S, Matousek P, Parmar B, Kevei Z, Anastasiadi M. (2024). Application of spatial offset Raman spectroscopy (SORS) and machine learning for sugar syrup adulteration detection in UK honey. Foods, 13(15), 2425. https://doi.org/10.3390/foods13152425
Shi C, Zhao Z, Jia Z, Hou M, Yang X, Ying X, Ji Z. (2024). Artificial neural network-based shelf life prediction approach in the food storage process: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(32), 12009–12024. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2245899
Shin JY, Kim HS. (2026). The role and potential of generative AI in meat processing technology innovation. Food and Life, 2026(1), 11–21. https://doi.org/10.5851/fl.2500022
Thanasirikul C, Patumvan A, Lipsky D, Bovonsombut S, Singjai P, Boonchieng E, Chitov T. (2023). Rapid assessment and prediction of microbiological quality of raw milk using machine learning based on RGB-colourimetric resazurin assay. International Dairy Journal, 146, 105750. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105750
Treme M da S, Müller WA, Kronbauer M, Ferreira SB, da Silva SB. (2026). Robust prediction of Listeria monocytogenes, Listeria innocua and aerobic spoilage bacteria growth in food systems using Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks. International Journal of Food Microbiology, 456, 111788.

https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2026.111788
Truong AM, Luong HQ. (2024). A non-destructive, autoencoder-based approach to detecting defects and contamination in reusable food packaging. Current Research in Food Science, 8, 100758. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100758
Turgut SS, Myustedzhebov A, Feyissa AH. (2025). Low-cost multispectral sensor reveals cold chain breaks, meat type, and storage time in chicken meat samples. Food Control, 167, 110816. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110816
Tushar ZH, Mostafa MS. (2026). Artificial intelligence in poultry processing: Applications, validation gaps, and pathways toward intelligent and autonomous processing systems. Poultry Science, 105, 107734. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.107734
Xu J, Luo Z, Zhang X, Li Z, Li D, Chen Y, Lin X, Guillén F, Xu Y. (2026). Revolutionizing fresh food quality control in supply chains with machine learning: Current advances and future challenges. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 25, e70360. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70360
Valente FO, Guerra AF, Barbosa Júnior JL. (2026). User-friendly software tools for predicting the shelf life of meat and meat products. Journal of Microbiological Methods, 247, 107593. https://doi.org/10.1016/j.mimet.2026.107593
Wang J, Xia L, Liu H, Zhao C, Ming S, Wu J. (2024). Colorimetric microneedle sensor using deep learning algorithm for meat freshness monitoring. Chemical Engineering Journal, 481, 148474. https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.148474
Wolc A, Kabuye U, Veldhuizen T, Condon J, Bi Y, Rowland K. (2026). Cell phone image analysis as a proxy for laboratory egg quality measurements. Poultry Science, 105(11), 107470. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.107470
Wu X, Xu B, Luo H, Ma R, Du Z, Zhang X, Liu H, Zhang Y. (2023). Adulteration quantification of cheap honey in high-quality Manuka honey by two-dimensional correlation spectroscopy combined with deep learning. Food Control, 154, 110010. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110010
Yadav AR, Balasubramaniam V, Reddy CK. (2026). LivestockChain-XAI: An integrated cyber-physical intelligence framework for livestock health and supply chain traceability. Proceedings of the 5th IEEE World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC), 1627–1634. https://doi.org/10.1109/AIC70896.2026.11717414
Yu F, Zhang D, Zhang J, Wang W, Cheng J, Zhang C. (2026). Artificial intelligence driven meat preservation technology: Research progress, challenges, and future directions. Food Quality and Safety, 10, fyaf083. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaf083
Yu P, Shen C, Cheng J, Yin X, Liu C, Yu Z. (2025). Advances in nondestructive technologies for external eggshell quality evaluation. Sensors, 25(18), 5796. https://doi.org/10.3390/s25185796
Yumnam M, Dulait K, Singh R, Shukla P, Basantarani L, Mishra P. (2025). Traceability, digitization, and processing trends in the meat industry. İçinde R. Nimmanapalli ve M. K. Singh (Ed.), Trends in Animal-Based Foods (ss. 239–270). https://doi.org/10.1007/978-3-032-00575-5_11
Zatsu V, Shine AE, Tharakan JM, Peter D, Ranganathan TV, Alotaibi SS, Mugabi R, Bin Muhsinah A, Waseem M, Nayik GA. (2024). Revolutionizing the food industry: The transformative power of artificial intelligence—a review. Food Chemistry: X, 24, 101867. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101867
Zavodna LS, Überwimmer M, Frankus E. (2024). Barriers to the implementation of artificial intelligence in small and medium-sized enterprises: Pilot study. Journal of Economics and Management, 46, 331–352. https://doi.org/10.22367/jem.2024.46.13
Zhang J, Dong F, Wang C, Sun W, Zhou X. (2026). Nondestructive testing of egg freshness based on laser Doppler vibrometry. Sensors, 26(17), 5389. https://doi.org/10.3390/s26175389
Zong W, Zhao S, Li Y, Yang X, Qie M, Zhang P, Zhao Y. (2025). Quality control and origin traceability of Tibetan yak meat using mid-infrared spectroscopy combined with multivariate analysis and machine learning. Journal of Consumer Protection and Food Safety, 20, 235–244. https://doi.org/10.1007/s00003-025-01565-5

HAYVANSAL ÜRETİMDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI VE SAHA UYGULANABİLİRLİĞİ

Prof. Dr. Okan ATAY
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3783-4055
Öğr. Gör. Ali Kemali ÖZUĞUR
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5064-3472
Prof. Dr. Özdal GÖKDAL
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0130-698X
Doç. Dr. Vadullah EREN
Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 09500 Çine, Aydın, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5296-7120

ÖZET

Hayvansal üretimde yapay zekâ (YZ) uygulamaları; sürü izleme, davranış analizi, hastalıkların erken belirlenmesi, verim tahmini, hassas besleme, üreme yönetimi, barınak ve çevre yönetimi ile kayıt yönetimi ve karar destek sistemleri gibi çok sayıda alanda giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. Sensörler, kamera sistemleri, biyosensörler ve diğer dijital veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle değerlendirilmesi, hayvanların bireysel düzeyde izlenmesine ve üretim süreçlerinin daha veri temelli biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında, farklı kaynaklardan elde edilen işletme kayıtlarının dijital ortamda bütünleştirilmesi ve yapay zekâ yöntemleriyle analiz edilmesi, yetiştiricilik ve işletme yönetimine ilişkin kararların desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, hayvansal üretimde yapay zekânın başlıca kullanım alanları ile bu uygulamaların saha koşullarındaki uygulanabilirliği güncel literatür temelinde değerlendirilmiştir. Literatürde farklı uygulama alanlarında yüksek doğruluk ve sınıflandırma performansları bildirilmekle birlikte, bu sonuçların önemli bir bölümü kontrollü koşullarda elde edilmiştir. Veri kalitesi, sensör güvenilirliği, çevresel değişkenlik, model genellenebilirliği, yatırım maliyetleri, teknik altyapı, kullanıcı uyumu ile veri sahipliğine ilişkin belirsizlikler, yapay zekâ sistemlerinin saha koşullarındaki başarısını etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Gelecekte çok modlu veri entegrasyonu, açıklanabilir yapay zekâ, gerçek zamanlı karar destek sistemleri ve saha koşullarında doğrulanmış modellerin yaygınlaşması beklenmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte sensör, kamera ve akıllı tasma sistemlerinin daha küçük, hafif, enerji verimli ve düşük maliyetli hâle gelmesi, bu teknolojilerin daha geniş bir işletme grubunda kullanılmasını kolaylaştırabilir. Bu nedenle hayvansal üretimin dijital dönüşüme hazırlanması, teknik altyapının güçlendirilmesi ve yetiştirici ile teknik personelin eğitilmesi büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, Hayvancılık, Makine öğrenmesi, Sensörler, Uygulanabilirlik

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ANIMAL PRODUCTION: APPLICATIONS AND FEASIBILITY UNDER FIELD CONDITIONS

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) applications are increasingly being used in livestock production across a wide range of areas, including herd monitoring, behavioural analysis, early disease detection, productivity prediction, precision feeding, reproductive management, housing and environmental management, and record management and decision support systems. The analysis of data obtained from sensors, camera systems, biosensors, and other digital sources using machine learning and deep learning methods enables individual animal monitoring and more data-driven management of production processes. Furthermore, the integration of farm records from different sources into digital systems and their analysis using AI methods contribute to supporting decisions related to animal husbandry and farm management. This study reviews the main application areas of AI in livestock production and evaluates their applicability under field conditions based on current scientific literature. Although high levels of accuracy and classification performance have been reported across different application areas, a substantial proportion of these results have been obtained under controlled conditions. Data quality, sensor reliability, environmental variability, model generalisability, investment costs, technical infrastructure, user adaptation, and uncertainties regarding data ownership are among the main factors influencing the performance of AI systems under field conditions. Future developments are expected to include multimodal data integration, explainable AI, real-time decision support systems, and the wider adoption of models validated under field conditions. Technological advances that make sensors, cameras, and smart collars smaller, lighter, more energy-efficient, and less expensive may facilitate the adoption of these technologies across a broader range of livestock farms. Therefore, preparing livestock production for digital transformation, strengthening technical infrastructure, and providing training for farmers and technical personnel are of considerable importance.

Keywords: Artificial intelligence, Livestock production, Machine learning, Sensors, Field applicability

1. GİRİŞ

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği ve doğal kaynakların giderek daha fazla baskı altında kalması, hayvansal üretimde verimlilik ile kaynak kullanım etkinliğinin birlikte artırılmasını gerekli hâle getirmektedir. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9,7 milyara ulaşacağının ve gıda talebinde önemli bir artış yaşanacağının öngörülmesi, sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesini daha da önemli hâle getirmiştir (Van Dijk ve ark., 2021; FAO, 2022). Bu süreçte dijital teknolojilerdeki gelişmeler, hayvancılıkta veri temelli üretim ve yönetim uygulamalarının yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır.

Yapay zekâ (YZ), büyük veri analitiği, sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin hayvancılık sistemlerine entegrasyonu, hassas hayvancılık uygulamalarının gelişimini hızlandırmıştır. Bu sistemlerde farklı kaynaklardan elde edilen veriler bir araya getirilerek hayvanların davranışları, sağlık durumları ve üretim performansları bireysel ve sürekli olarak izlenebilmektedir (Wolfert ve ark., 2017; Liakos ve ark., 2018). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin görüntü, sensör ve biyolojik verilerin analizinde kullanılması; davranış sınıflandırması, bireysel hayvan tanımlama, hastalıkların erken belirlenmesi, kızgınlık tespiti ve verim tahmini gibi birçok alanda yeni uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamıştır (García ve ark., 2020; Mahmud ve ark., 2021). Bunun yanında, hayvanlara ve işletmelere ilişkin farklı kaynaklardan elde edilen kayıtların dijital

ortamda bütünleştirilmesi ve YZ yöntemleriyle değerlendirilmesi, üretim ve yetiştiricilik süreçlerine yönelik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Bahlo ve ark., 2019; Dineva ve Atanasova, 2023). Aynı zamnda YZ, hayvancılıkta yem verimliliğini artırarak, sindirim sorunlarını erken tespit ederek ve kaynak kullanımını optimize ederek sera gazı emisyonlarını ve çevresel ayak izini azaltmaya katkı sağlar (Monteiro ve Gökdal, 2026a, b).

Bununla birlikte, YZ tabanlı sistemlerde bildirilen yüksek doğruluk oranlarının önemli bir bölümü belirli deneysel koşullarda elde edilmiştir. Veri kalitesi, sensör doğruluğu, çevresel değişkenlik, farklı ırk ve yetiştirme sistemleri arasındaki heterojenlik ile modellerin farklı işletmelere genellenebilirliği, bu teknolojilerin saha performansını etkileyebilmektedir (Neethirajan, 2020; Morrone ve ark., 2022). Ayrıca yatırım maliyetleri, teknik altyapı gereksinimi, yetiştiricilerin teknolojiye uyumu ile veri mahremiyeti ve sahipliğine ilişkin belirsizlikler de uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, YZ uygulamalarının hayvansal üretimdeki başlıca kullanım alanlarını ortaya koymak ve bu teknolojilerin saha koşullarındaki etkinliğini ve yaygınlaşmasını etkileyen temel unsurları değerlendirmektir. Bu kapsamda sürü izleme ve davranış analizi, hastalıkların ve sağlık sorunlarının erken belirlenmesi, verim tahmini ve hassas besleme, üreme yönetimi, barınak ve çevre yönetimi ile kayıt yönetimi ve karar destek sistemlerine ilişkin güncel özgün araştırmalar ve derleme çalışmalarından yararlanılmıştır. Ayrıca bu uygulamaların saha koşullarındaki uygulanabilirliği, karşılaşılan temel sınırlılıklar ve geleceğe yönelik gelişme alanları değerlendirilmiştir.

2. HAYVANSAL ÜRETİMDE YAPAY ZEKÂNIN (YZ) BAŞLICA KULLANIM ALANLARI

Hayvansal üretimde YZ uygulamaları, hayvanlara, üretim koşullarına ve işletme yönetimine ilişkin verilerin işlenerek sürü ve işletme yönetiminde kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesine dayanmaktadır. Kamera sistemleri, hareket sensörleri, Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID), Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi (GNSS), mikrofonlar, otomatik tartım sistemleri, çevresel sensörler, çeşitli biyosensörler ve dijital işletme kayıtlarından elde edilen veriler; makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle analiz edilerek hayvanların davranışlarının, sağlık durumlarının, verim özelliklerinin ve barınak içi çevresel koşulların izlenmesinde kullanılabilmektedir. Ayrıca farklı kaynaklardan elde edilen verilerin dijital ortamda bütünleştirilmesi, kayıt yönetiminin geliştirilmesine ve işletme kararlarını destekleyen sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sürü düzeyindeki genel değerlendirmelerin yanında hayvanların bireysel olarak izlenmesine, çevresel değişimlerin tahmin edilmesine ve işletme yönetiminde daha kapsamlı karar destek mekanizmalarının geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Rutten ve ark., 2013; Bahlo ve ark., 2019; García ve ark., 2020; Neethirajan, 2020; Dineva ve Atanasova, 2023; Bordignon ve ark., 2025). Hayvansal üretimde YZ'nın başlıca kullanım alanları ve bu alanlardaki temel uygulamalar Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Hayvansal üretimde yapay zekânın başlıca kullanım alanları ve temel uygulamaları (Görsel, YZ kullanılarak oluşturulmuştur).

2.1. Sürü İzleme ve Davranış Analizi

Sürü yönetiminde YZ'nin başlıca kullanım alanlarından biri, hayvanların bireysel olarak tanımlanması ve davranışlarının otomatik biçimde izlenmesidir. RFID sistemleri, ivmeölçerler, pedometreler, jiroskoplar, GNSS alıcıları, mikrofonlar, termal kameralar ile iki ve üç boyutlu kamera sistemleri sayesinde hareketlilik, yatma ve ayakta durma süreleri, geviş getirme, kaşınma, dışkılama, idrar sıklığı, yem ve su tüketimi, ses çıkarma ve çeşitli sosyal davranışlara ilişkin veriler toplanabilmektedir. Bu verilerin YZ yöntemleriyle değerlendirilmesi, geleneksel gözleme dayalı sürü takibinin daha sürekli ve bireysel düzeyde yürütülmesine olanak sağlamaktadır (Neethirajan, 2020).

Görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemleri, özellikle bireysel hayvan tanımlama uygulamalarında dikkat çekmektedir. Kumar ve ark. (2018), sığırlarda burun izi görüntülerine dayalı bir derin öğrenme yaklaşımıyla %98'in üzerinde tanımlama başarısı bildirmiştir. Andrew ve ark. (2021) ise süt sığırlarının görüntü tabanlı bireysel tanımlanmasında %90'ın üzerinde doğruluk elde edilebildiğini göstermiştir. Bu sistemler, elektronik kimliklendirme yöntemlerine alternatif veya tamamlayıcı olarak hayvanların temassız biçimde tanımlanması açısından önem taşımaktadır.

Bireysel tanımlamanın yanı sıra YZ yöntemlerinden hayvan davranışlarının otomatik sınıflandırılmasında da yararlanılmaktadır. Nasirahmadi ve ark. (2017), görüntü işleme yöntemlerinin sığır ve domuzlarda farklı davranışların belirlenmesinde kullanılabildiğini bildirmiştir. Achour ve ark. (2020) ise süt sığırlarında görüntü tabanlı bir sistem kullanarak yemleme davranışının yaklaşık %92 doğrulukla sınıflandırılabildiğini göstermiştir.

Ekstansif yetiştirme koşullarında GNSS ve ivmeölçer verilerinin birlikte değerlendirilmesi, hayvan davranışlarının geniş otlatma alanlarında izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bakir ve ark. (2026), bu verilerden yararlanarak sığırlarda otlama, dinlenme ve yürüme davranışlarının %90'ın üzerinde doğrulukla sınıflandırılabildiğini bildirmiştir.

Kanatlılarda da farklı dijital veri kaynakları YZ tabanlı davranış analizinde kullanılmaktadır. Mohialdin ve ark. (2023), kamera görüntülerinden elde edilen hareket yörüngelerini kullanarak

tavuklarda yürüme, yeme ve uyuma davranışlarını LightGBM modeliyle %94,7 doğrulukla sınıflandırmıştır. Ahmed ve ark. (2024) ise giyilebilir üç eksenli ivmeölçer verilerinden gagalama ve yemlenme, tüy düzeltme ve toz banyosu gibi davranışların makine öğrenmesi yöntemleriyle otomatik olarak belirlenebildiğini göstermiştir. Bunun yanında, hayvan seslerinin YZ yöntemleriyle analizi, kanatlılarda davranış ve refah durumlarının temassız biçimde izlenmesine yönelik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Manikandan ve Neethirajan, 2025). Ticari kümes koşullarında sistem performansının izlenen davranışa ve kullanılan veri kaynağına bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Engelbrecht ve ark., 2026).

Görüntüleme teknolojilerinin kullanım alanı, işletme içindeki sabit kamera sistemleriyle sınırlı değildir. Xu ve ark. (2020), insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerde geniş alanlara dağılmış sığırların Mask R-CNN modeliyle tespitinde yaklaşık %94 doğruluk bildirmiştir. Bu tür uygulamalar, özellikle geniş otlatma alanlarında hayvanların konumlarının ve sürü dağılımının izlenmesi açısından yeni olanaklar sunmaktadır.

2.2. Hastalıkların ve Sağlık Sorunlarının Erken Belirlenmesi

Hayvan hastalıklarının erken dönemde belirlenmesi, hem verim kayıplarının azaltılması hem de hayvan refahının korunması açısından önem taşımaktadır. Hastalık sürecinde meydana gelen hareketlilik, yem tüketimi, süt verimi, vücut sıcaklığı ve davranış değişikliklerinin sensörler ve kameralar aracılığıyla izlenmesi, klinik belirtiler belirgin hâle gelmeden önce normal durumdan sapmaların fark edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu nedenle YZ destekli sistemlerin hayvan sağlığı alanındaki temel işlevlerinden biri, doğrudan tanı koymaktan çok hastalıklarla ilişkili değişiklikleri belirleyerek erken uyarı sağlamaktır.

Süt sığırlarında mastitis, YZ destekli hastalık belirleme çalışmalarının yoğunlaştığı alanlardan biridir. Otomatik sağım sistemlerinden elde edilen verilerin makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarıyla değerlendirilmesi sonucunda mastitisli hayvanların belirlenmesinde yaklaşık %80 düzeyinde doğruluk değerleri bildirilmiştir (Kamphuis ve ark., 2010; Neethirajan, 2020). Daha güncel bir çalışmada Yüksel ve ark. (2026), 252 süt ineğine ait yüzeysel inguinal lenf düğümü ultrasonografi görüntülerini derin öğrenme modelleriyle değerlendirerek klinik mastitis, subklinik mastitis ve sağlıklı hayvanların sınıflandırılmasında en başarılı modelle %96,87 doğruluk ve %96,79 F1-skoru elde etmiştir.

Topallığın belirlenmesinde hareket sensörleri ve görüntü işleme yöntemlerinden yararlanılmakta, bazı çalışmalarda %90'ın üzerinde doğruluk değerlerine ulaşılmaktadır. Bununla birlikte hafif veya erken dönem topallıkların belirlenmesinin daha güç olduğu ve model performansının hastalığın şiddetine bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Viazzi ve ark., 2013; Schlageter-Tello ve ark., 2014). Ortenzi ve ark. (2023) ise, RGB görüntü analizi ve evrişimli sinir ağı (CNN) algoritması kullanarak sütçü inek dışkılarını pH, renk ve kıvam özelliklerine göre sınıflandırıp değerlendirerek sindirim problemlerinin erken tespitine olanak tanıyan ve saha analizlerindeki öznelliği ortadan kaldıran bir yöntem sunmuştur. Solunum yolu hastalıklarının izlenmesinde ise akustik verilerden yararlanılmaktadır. Domuzlarda öksürük ve diğer seslerin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle analiz edilmesi, solunum sistemi hastalıklarının sürekli ve temassız biçimde izlenmesine ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilecek bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Sharifuzzaman ve ark., 2026).

Kanatlılarda da YZ destekli sistemlerin sağlık sorunlarının erken belirlenmesinde kullanımı giderek artmaktadır. Ses verilerine dayalı yaklaşımlarda Newcastle hastalığı ve kuş gribi gibi enfeksiyonların yanı sıra sıcaklık stresi ve diğer fizyolojik değişimlerin makine öğrenmesi ve

derin öğrenme yöntemleriyle belirlenebildiği bildirilmektedir (Manikandan ve Neethirajan, 2025). Ayrıca sensörler, termal görüntüleme ve davranış verilerinin birlikte değerlendirilmesi; topallık, enfeksiyon ve metabolik stres gibi sağlık sorunlarıyla ilişkili erken belirtilerin izlenmesine olanak sağlayabilmektedir (Abdel-Wareth ve Ahmed, 2026).

YZ temelli sağlık izleme uygulamaları küçükbaş hayvanları da kapsamaktadır. McLennan ve Mahmoud (2019), koyunlarda bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi yöntemlerinden yararlanarak yüz ifadelerindeki ağrıyla ilişkili değişikliklerin otomatik olarak belirlenebileceğini ve yüz ifadelerine dayalı bir ağrı skoru oluşturulabileceğini göstermiştir. Daha genel olarak sensörler, büyük veri ve makine öğrenmesine dayalı sistemlerin hayvan sağlığı ve refahının sürekli izlenmesinde ve sağlık sorunlarına ilişkin erken uyarı sağlanmasında önemli bir potansiyel taşıdığı bildirilmektedir (Jukan ve ark., 2017; Neethirajan, 2020). Bununla birlikte, farklı hastalıkların benzer davranışsal veya fizyolojik değişikliklere yol açabilmesi nedeniyle YZ sistemlerinden elde edilen sonuçların klinik değerlendirmeyle birlikte ele alınması gerekmektedir.

2.3. Verim Tahmini ve Hassas Besleme

YZ yöntemlerinin hayvansal üretimdeki önemli kullanım alanlarından biri, verim özelliklerinin tahmin edilmesi ve besleme yönetiminin iyileştirilmesidir. Süt, et ve yumurta verimi gibi üretim özelliklerinin yanı sıra yem tüketimi ve gelecekteki performansın tahmin edilmesinde makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarından yararlanılmaktadır. Süt sığırlarında günlük süt verimi ve süt bileşenlerinin tahmininde bu yöntemlerin kullanılabildiği bildirilmektedir (Liakos ve ark., 2018; Neethirajan, 2020). Koyunlarda ise meme morfolojisine ilişkin ölçümlerin yapay sinir ağlarıyla değerlendirilmesi sonucunda süt veriminin tahmin edilebildiği gösterilmiştir (Angeles-Hernandez ve ark., 2022).

Hassas besleme uygulamalarının temel amacı, hayvanların besin madde gereksinimleri ile sunulan yem miktarı ve bileşiminin mümkün olduğunca uyumlu hâle getirilmesidir. Bu kapsamda görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak bireysel yem tüketiminin tahmin edilmesine yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir. Saar ve ark. (2022), renk ve derinlik bilgisi sağlayan kamera sistemi (RGB-D) ve derin öğrenme modellerini kullanarak bireysel yem tüketiminin yaklaşık 0,14 kg/öğün hata düzeyiyle tahmin edilebildiğini bildirmiştir. Salleh ve ark. (2023) ise makine öğrenmesi yöntemleriyle yem tüketiminin tahmin edilebildiğini ve ek hayvan ve üretim değişkenlerinin modele dâhil edilmesiyle tahmin performansının artırılabildiğini göstermiştir.

Sensörlerden ve üretim kayıtlarından elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi, hassas besleme uygulamalarının bireysel gereksinimlere göre düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Hayvanların vücut kondisyon skoru, verim düzeyi, yem tüketimi ve çevresel koşullar gibi değişkenler dikkate alınarak besleme programları oluşturulabilmektedir. Bach (2026), besleme, üretim, sağlık, genetik, çevre, yönetim ve ekonomik verilerin birlikte değerlendirilmesinin süt sığırcılığında hayvan veya grup düzeyinde daha uygun besleme ve yönetim kararlarının alınmasına katkı sağlayabileceğini belirtmiştir. Ayrıca sıcaklık ve nem gibi çevresel verilerin davranış ve yem tüketimi bilgileriyle birlikte değerlendirilmesi, sıcaklık stresine bağlı olarak yemleme zamanının veya yönetim uygulamalarının düzenlenmesine katkı sağlayabilmektedir (Zuidhof, 2020; Akintan ve ark., 2024).

Kanatlılarda hassas besleme uygulamaları, hızlı büyüme döneminde değişen besin madde gereksinimlerinin daha yakından karşılanmasına yönelik bir yaklaşım oluşturmaktadır. Farklı besin yoğunluğuna sahip yem bileşenlerinin günlük gereksinimlere göre otomatik olarak harmanlanması, besin madde kullanım etkinliğinin artırılmasına ve yem kayıplarının azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Moss ve ark., 2021; Devi ve ark., 2026). Bunun

yanında, makine öğrenmesi yöntemleri bağırsak mikrobiyotası, mineral metabolizması ve yem katkıları arasındaki ilişkilerin analizinde de kullanılmaktadır. Grishina ve ark. (2025), broilerlerde mikrobiyota verilerinden diyet tipinin yaklaşık %74 doğrulukla sınıflandırılabildiğini bildirmiştir.

2.4. Üreme Yönetimi

Hayvanlarda kızgınlığın otomatik olarak belirlenmesinde aktivite sensörleri ve diğer otomatik izleme sistemleri uzun süredir kullanılmaktadır (Rutten ve ark., 2013). Son yıllarda bu sistemlerden elde edilen verilerin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle değerlendirilmesi, kızgınlık belirleme çalışmalarında giderek daha fazla önem kazanmıştır. Aktivite, hareket örüntüleri, vücut sıcaklığı, görüntü ve ses gibi farklı veri kaynaklarının birlikte analiz edilmesi, kızgınlığa bağlı davranışsal ve fizyolojik değişimlerin sürekli ve temassız biçimde izlenmesine olanak sağlayabilmektedir. Domuzlarda görüntü, termal veri ve ses analizine dayalı YZ uygulamalarında yüksek sınıflandırma başarıları bildirilmiş; ticari işletmelerde kullanılan bir sistemin kızgınlık belirtilerini manuel gözleme göre 10–20 saat daha erken belirleyebildiği aktarılmıştır (Sharifuzzaman ve ark., 2024). Süt sığırlarında ise Wang ve ark. (2025), kamera görüntülerinden elde edilen hareket verilerini gelişmiş nesne takibi, Fourier analizi ve temel bileşen analiziyle değerlendirerek kızgın ve kızgın olmayan hayvanların ayrımında yaklaşık %89 doğruluk elde etmiştir.

Küçükbaş hayvanlarda da YZ ve hassas izleme teknolojileri üreme yönetiminde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Koyunlarda video görüntüleri, ivmeölçer ve GNSS gibi sensörlerden elde edilen verilerin kızgınlık davranışları, kuzulama ve analık davranışlarının izlenmesinde kullanılabileceği; bazı uygulamalarda doğumla ilişkili davranışların belirlenmesinde %86'nın üzerinde doğruluk değerlerine ulaşıldığı bildirilmektedir (Emsen ve ark., 2025). Keçilerde ise Tuyishime ve ark. (2026), Uganda'daki 240 küçük işletmeden elde edilen 900 çiftleşme kaydını kullanarak gebelik başarısını tahmin etmeye yönelik farklı makine öğrenmesi modellerini karşılaştırmış ve en iyi genellenebilirliği lojistik regresyon modelinde elde etmiştir. Modelin sınıfları ayırt etme gücünü gösteren ROC eğrisi altında kalan alan (ROC-AUC) yaklaşık 0,69 düzeyinde kalmıştır. Bununla birlikte çalışma, hayvan özellikleri, sağlık durumu, yönetim uygulamaları ve çevresel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesinin küçük aile işletmelerinde üreme kararlarının desteklenmesine yönelik bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

YZ tabanlı yaklaşımlar, kızgınlığın belirlenmesinin yanı sıra çiftleşme veya tohumlama sonrasında gebelik durumunun değerlendirilmesi ve gebelik olasılığının tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır (Ott ve ark., 2025). Marques ve ark. (2024), 1.054 Holstein inekte otomatik aktivite izleme verilerini hayvana özgü ve çevresel değişkenlerle birlikte değerlendirerek gebelik olasılığını tahmin etmiştir. Araştırmada yalnızca aktivite verilerinin kullanıldığı modelde %84 olan doğruluğun, ilave işletme verilerinin modele dâhil edilmesiyle %87'ye yükseldiği ve ROC-AUC değerinin 0,87'ye ulaştığı bildirilmiştir. Bu bulgular, farklı veri kaynaklarının birlikte değerlendirilmesinin gebelik tahmin performansını artırabileceğini göstermektedir.

Domuzlarda üreme performansının tahmin edilmesine yönelik çalışmalar, yavru sayısı ve yavru yaşama gücü gibi karmaşık özelliklerin genetik, fizyolojik, çevresel ve yönetimsel değişkenlerle birlikte modellenebileceğini göstermektedir. Ntshehi ve ark. (2026), makine öğrenmesi yaklaşımlarının yavru sayısı ve diğer karmaşık üreme özelliklerinin tahmininde kullanılabileceğini bildirmiştir.

Kanatlılarda YZ uygulamaları, fertilite ve kuluçka yönetiminde de değerlendirilmektedir. Çevik

ve ark. (2022), kuluçka görüntülerini Mask R-CNN tabanlı derin öğrenme modeliyle analiz ederek fertil ve infertil tavuk yumurtalarının erken dönemde otomatik olarak belirlenebildiğini ve fertil yumurtaların üçüncü günde doğru biçimde tespit edildiğini göstermiştir. Daha geniş ölçekte YZ; fertilite değerlendirmesi, gamet ve embriyo analizi ile yardımcı üreme teknolojilerinin optimizasyonunda da kullanılabilecek bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Mansour, 2025). Böylece YZ yöntemleri, kızgınlık ve doğumla ilişkili davranışların belirlenmesinden gebelik olasılığı ve üreme performansının tahminine kadar farklı üreme süreçlerinde kullanılabilmektedir.

2.5. Barınak ve Çevre Yönetimi

Hayvan barınaklarında sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve gaz konsantrasyonları gibi çevresel değişkenlerin uygun düzeylerde tutulması, hayvan refahı ve üretim koşullarının sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. Geleneksel çevre yönetimi sistemleri çoğunlukla önceden belirlenmiş eşik değerlere dayanırken, yapay zekâ (YZ) tabanlı yaklaşımlar çevresel verilerin birlikte analiz edilmesine, değişimlerin tahmin edilmesine ve kontrol sistemlerinin mevcut koşullara göre düzenlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda makine öğrenmesi ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleri; çevresel izleme, havalandırma yönetimi, sıcaklık stresinin değerlendirilmesi ve enerji tüketiminin tahmin edilmesi gibi alanlarda araştırılmaktadır (Bordignon ve ark., 2025; Wu ve ark., 2025).

Çevresel verilerin izlenmesi ve analiz edilmesi, YZ destekli barınak yönetiminin başlıca uygulama alanlarından biridir. Rao ve ark. (2020), ticari bir keçi işletmesinde sıcaklık, bağıl nem, aydınlatma ve gaz konsantrasyonlarını izleyen sensörleri nesnelerin interneti (IoT) ve makine öğrenmesi yöntemleriyle bütünleştirerek çevresel verilerdeki olağan dışı durumların belirlenmesini ve hayvan davranışlarının görüntü işleme yöntemleriyle izlenmesini ele almıştır. Li ve ark. (2024), etlik piliç kümeslerinde çevresel verileri temel bileşenler analizi ve kümeleme yöntemleriyle değerlendirerek kümes içindeki çevresel farklılıkları incelemiştir. Rawdhan ve ark. (2026) ise açık ve kapalı iki farklı yumurtacı tavuk barınağında sıcaklık ve bağıl nem verilerinden gaz konsantrasyonlarını tahmin etmek amacıyla makine öğrenmesi modellerini karşılaştırmış; Gradient Boosting algoritmasıyla karbondioksit, hidrojen sülfür ve yanıcı gaz karışımı konsantrasyonları için sırasıyla 0,88, 0,83 ve 0,99 belirleme katsayıları elde etmiştir.

YZ yöntemleri, çevresel koşulların izlenmesinin yanı sıra gelecekteki değişimlerin tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır. Cao ve ark. (2023), doğal havalandırmalı bir süt sığırı barınağında hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarından elde edilen verilerle hava değişim oranını tahmin etmiş; derin sinir ağı yaklaşımının başarılı sonuçlar verdiğini ve barınak içi hava hızı bilgilerinin modele eklenmesiyle tahmin hatasının azaltılabildiğini bildirmiştir. Feng ve ark. (2022) ise koyun barınaklarında sıcaklığın tahmin edilmesi amacıyla çevresel değişkenlerin seçimini ve makine öğrenmesi yöntemlerini birlikte değerlendirmiştir.

YZ algoritmalarının havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin doğrudan kontrolünde kullanılması da araştırılmaktadır. Zhang ve ark. (2024), ticari bir etlik piliç işletmesinde Q-Learning algoritmasına dayalı çevresel kontrol sistemini geleneksel eşik değerlerine dayalı yöntemle karşılaştırmıştır. Yaklaşık bir ay süren araştırmada, pekiştirmeli öğrenme uygulanan kümeste sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı değişkenlerinin daha dar aralıklarda seyrettiği, karbondioksit konsantrasyonunun ise daha düşük olduğu bildirilmiştir. Hu ve ark. (2026), 53.280 yumurtacı tavuğun bulunduğu ticari bir işletmede Double DQN algoritmasıyla dört ayrı bölgenin havalandırmasını yönetmiş; geleneksel kontrol yöntemine kıyasla sıcaklık ve nem dalgalanmalarının azaldığını, günlük enerji tüketiminin 115,59 kWh'den 103,63 kWh'ye düşerek %10,35 enerji tasarrufu sağlandığını bildirmiştir. Perez Garcia ve ark. (2025) ise süt

sığırı barınaklarında soğutma ve havalandırmaya bağlı enerji tüketimini gerçek işletme verileriyle modellemiş ve 0,85 belirleme katsayısı elde etmiştir.
Barınak yönetiminde çevresel koşulların hayvanlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi de önem taşımaktadır. Oliveira ve ark. (2025), süt sığırlarında sıcaklık stresine yönelik yaklaşımları inceledikleri derlemede, makine öğrenmesi yöntemlerinin çevresel, fizyolojik ve davranışsal verilerin birlikte analiz edilmesine olanak sağladığını belirtmiştir. Bordignon ve ark. (2025) ise çevresel sensörlerden ve hayvanlardan elde edilen verilerin bütünleştirilmesinin iklim koşullarına uyumlu yönetim stratejileri açısından önemini vurgulamıştır.
Bununla birlikte, YZ tabanlı barınak yönetimi uygulamaları ağırlıklı olarak çevresel koşulların izlenmesi, analizi ve tahminine odaklanmaktadır. Wu ve ark. (2025), tavuk yetiştiriciliğinde YZ uygulamalarını kapsayan 254 araştırmanın yalnızca %6'sının çevre yönetimiyle ilgili olduğunu bildirmiştir. Mekonnen (2026) ise sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi çevresel değişkenlerle birlikte hayvan davranışlarının ve refah göstergelerinin de değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Dolayısıyla gelecekteki barınak yönetimi uygulamalarında çevresel kontrol ile hayvan refahına ilişkin göstergelerin bütünleştirilmesi önem taşımaktadır.

2.6. Kayıt Yönetimi ve Karar Destek Sistemleri

Hayvancılık işletmelerinde kayıt yönetimi; hayvan kimliği, soy kütüğü, sağlık, üreme, verim ve yetiştirme süreçlerine ilişkin bilgilerin sistematik biçimde oluşturulmasını, saklanmasını ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. Elektronik tanımlama sistemleri, otomatik veri toplama teknolojileri ve işletme yönetim yazılımları, bu bilgilerin dijital ortamda düzenlenmesine olanak sağlamaktadır. Arnaldy ve ark. (2022), sığır yetiştiriciliğinde elektronik tanımlama, kayıt oluşturma ve veri tabanı yönetiminin bütünleşik sürü yönetimindeki yerini incelemiştir. Besieda ve ark. (2026) ise Almanya'da kanatlı eti, domuz ve süt sığırcılığı alanlarında faaliyet gösteren 193 yetiştiricinin anket yanıtlarını değerlendirerek otomatik ve manuel veri toplama yöntemlerinin üretim alanlarına ve veri türlerine göre farklılaştığını belirlemiştir.
Dijital kayıt sistemlerinin işletme düzeyindeki uygulamalarından biri, Hamadani ve Ganai (2022) tarafından koyun yetiştiriciliği için geliştirilen Smart Sheep Breeder sistemidir. İnternet ve mobil uygulama üzerinden kullanılabilen bu sistem; hayvan kimliği, soy kütüğü, verim ve yetiştirme kayıtlarının elektronik ortamda tutulmasına, sorgulanmasına ve raporlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca 40'tan fazla rapor oluşturulması, damızlık değerlerin hesaplanması ve soy kütüğü bilgilerinin değerlendirilmesi gibi işlevler sunmaktadır.
Kayıt yönetiminin önemli bir bileşeni, farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin ortak bir yapıda bütünleştirilmesidir. Bahlo ve ark. (2019), hassas hayvancılıkta veri standartları ve sistemler arası birlikte çalışabilirliği inceleyerek farklı kaynaklardan elde edilen kayıtların ortak biçimde tanımlanması ve paylaşılmasının önemini vurgulamıştır. Fote ve ark. (2020) ise büyük verilerin bilgi tabanlarında yönetilmesine yönelik bir sistem mimarisi önererek veri edinimi, işlenmesi, bilgiye dönüştürülmesi ve sorgulanmasını birbiriyle ilişkili süreçler olarak değerlendirmiştir.
Kayıtların doğruluğu ve tutarlılığı, bu bilgilerin güvenilir biçimde kullanılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Walsh (2024), İrlanda'daki 17.008 sürüden elde edilen 754.118 canlı ağırlık kaydını inceleyerek olağan dışı kayıt örüntülerinin belirlenmesine yönelik istatistiksel bir yaklaşım geliştirmiştir. Ren ve ark. (2022) ise süt sığırlarının kapalı alan konum kayıtlarındaki eksik verilerin tamamlanmasında farklı interpolasyon yöntemlerini karşılaştırmış ve değiştirilmiş Akima yönteminin en düşük ortalama konum hatasını sağladığını bildirmiştir. Bu çalışmalar, veri kalitesinin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemlerden yararlanılabileceğini göstermektedir.
Dijital kayıtların düzenlenmesi ve veri kalitesinin değerlendirilmesinin ardından, bu bilgilerin

YZ yöntemleriyle analiz edilmesi karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Dineva ve Atanasova (2023), süt sığırlarına ilişkin verilerin bulut tabanlı bir altyapıda yönetilmesini makine öğrenmesi yöntemleriyle birleştirmiş ve sığırların sağlık durumlarının sınıflandırılmasında kullanmıştır. Böylece elektronik veri yönetimi ile YZ destekli değerlendirme süreçleri aynı sistem içerisinde bütünleştirilmiştir.
Thomann ve ark. (2023), İsviçre'de yürütülen Smart Animal Health projesinde farklı kaynaklardan elde edilen işletme kayıtlarını bir araya getirerek hayvan refahı mevzuatına aykırılık riski taşıyan işletmelerin belirlenmesinde denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinden yararlanmıştır. Geliştirilen modellerle risk temelli denetimlerde öncelik verilebilecek işletmelerin sınıflandırılmasında %80'in üzerinde duyarlılık elde edilmiştir. Bu uygulama, işletme kayıtlarının yalnızca geçmiş bilgilerin saklanmasında değil, yönetim ve denetim kararlarının desteklenmesinde de kullanılabileceğini göstermektedir.

3. SAHA UYGULANABİLİRLİĞİ VE TEMEL SINIRLILIKLAR

Hayvansal üretimde YZ tabanlı sistemler; davranış analizi, hastalıkların erken belirlenmesi, verim tahmini, hassas besleme, üreme yönetimi ve çevresel koşulların izlenmesi gibi birçok alanda yüksek performans değerleri ortaya koymaktadır. Ancak literatürde bildirilen bu başarıların önemli bir bölümü kontrollü deney koşullarında elde edilmektedir. Farklı işletme yapıları, çevresel koşullar, hayvan ırkları ve yetiştirme sistemlerinde aynı performansın sürdürülebilmesi her zaman mümkün olmayabilmektedir (Dao ve ark., 2026). Bu nedenle bir modelin yüksek doğruluk göstermesi, tek başına saha koşullarında güvenilir ve uygulanabilir olduğu anlamına gelmemektedir. Bununla birlikte, bazı güncel çalışmalar YZ tabanlı sistemlerin büyük ölçekli ekstansif üretim koşullarında da uygulanabileceğini göstermektedir. Bakir ve ark. (2026), IoT sensörleri, GNSS tabanlı hayvan takibi, uydu verileri ve YZ analizlerini bir araya getiren bir hassas mera yönetim platformunu 12 sığır işletmesinde ve yaklaşık 202 bin hektarlık alanda uygulamış; sistemin hayvan hareketlerinin, mera kaynaklarının ve çevresel koşulların gerçek zamana yakın olarak izlenmesinde kullanılabildiğini göstermiştir. Hayvansal üretimde YZ tabanlı sistemlerin veri toplama aşamasından saha uygulamasına kadar uzanan temel işleyişi ile bu sistemlerin saha koşullarındaki uygulanabilirliğini etkileyen başlıca teknik, ekonomik ve yönetimsel unsurlar Şekil 2'de özetlenmiştir.
YZ sistemlerinin saha koşullarındaki başarısını etkileyen temel unsurlardan biri veri kalitesidir. Sensör arızaları, eksik veriler, ölçüm hataları ve çevresel gürültü, model çıktılarının güvenilirliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca farklı çiftliklerden ve hayvan gruplarından elde edilen verilerin yapısal olarak birbirinden farklı olması, geliştirilen modellerin başka sürü veya işletmelere genellenmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle veri ön işleme, gürültü azaltma ve birden fazla veri kaynağının birlikte kullanılması, farklı saha koşullarında daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından önem taşımaktadır (Wolfert ve ark., 2017; Tullo ve ark., 2019; García ve ark., 2020; Neethirajan, 2020; Morrone ve ark., 2022). Bunun yanında, işletmelerde farklı sistemler aracılığıyla oluşturulan kayıtların ortak bir veri yapısında bütünleştirilmesinde karşılaşılan güçlükler de YZ uygulamalarının yaygınlaşmasını sınırlayabilmektedir (Bach, 2026).



Şekil 2. Hayvansal üretimde yapay zekâ tabanlı sistemlerin işleyişi ve saha uygulanabilirliğini etkileyen temel unsurlar (Görsel, YZ kullanılarak oluşturulmuştur).

Model performansının değerlendirilmesinde yalnızca doğruluk oranının kullanılması da önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Özellikle sınıflar arasında dengesizlik bulunan veri setlerinde yüksek doğruluk değeri, modelin sınıflandırma performansını tek başına yeterli biçimde yansıtmayabilir. Bu nedenle duyarlılık, özgüllük, kesinlik, F1-skoru ve modelin sınıfları ayırt etme gücünü gösteren ROC eğrisi altında kalan alan (ROC-AUC) gibi ek performans ölçütlerinin de birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Sokolova ve Lapalme, 2009; García ve ark., 2020).

Hastalıkların erken belirlenmesine yönelik uygulamalarda veri etiketleme sürecinin güçlüğü, klinik doğrulama gereksinimi ve farklı hastalıkların benzer davranışsal veya fizyolojik belirtiler gösterebilmesi, yanlış sınıflandırma riskini artırabilmektedir. Bunun yanında, model performansının yalnızca aynı veri seti içinde yapılan çapraz doğrulama ile değerlendirilmesi yeterli olmayabilir. Bach (2026), aşırı uyum riskinin azaltılması ve modellerin farklı işletme koşullarındaki genellenebilirliğinin ortaya koyulması için bağımsız dış veri setleriyle doğrulamanın gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Teknik performansın yanı sıra ekonomik ve yapısal koşullar da YZ uygulamalarının yaygınlaşmasını doğrudan etkilemektedir. Sensörler, otomasyon sistemleri ve veri altyapısı belirli bir yatırım gerektirmekte; bu durum özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerde teknoloji kullanımını sınırlayabilmektedir. Teknolojik uygulamaların üretim veya teknik etkinlik açısından olumlu sonuçlar vermesi, bu uygulamaların ekonomik açıdan da avantajlı olacağı anlamına gelmemektedir. Yatırım maliyetleri, girdi ve ürün fiyatları ile işletmenin yapısal özellikleri, bu teknolojilerin ekonomik uygulanabilirliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Mata, 2026). Ayrıca yetiştiricilerin ve teknik personelin yeni teknolojilere uyumu, bakım ve onarım süreçlerinin yönetimi ile yeterli teknik desteğin bulunabilirliği de sistemlerin sürdürülebilir biçimde kullanılmasında belirleyici olmaktadır (Wolfert ve ark., 2017; Liakos ve ark., 2018; Akintan ve ark., 2024; Ryan ve Blok, 2026). Benzer biçimde, makine öğrenmesi ile dijital ikizlerin bütünleştirildiği sistemlerde maliyet, ölçeklenebilirlik, donanım gereksinimleri, veri senkronizasyonu ve işletme koşullarına uyarlanabilirlik önemli sınırlılıklar arasında yer

almaktadır (Abdelrahman ve ark., 2026).
Bu sınırlılıkların bir bölümünü azaltabilecek yaklaşımlardan biri, verilerin bulut sistemlerine aktarılmadan doğrudan işletmede işlenmesine olanak sağlayan uç yapay zekâ (edge AI) uygulamalarıdır. Li ve ark. (2026), sığırlarda yeme, ayakta durma ve yatma davranışlarını kamera görüntülerinden belirleyen hafif bir modeli düşük güçlü bir uç cihaz üzerinde gerçek zamanlı olarak çalıştırmış; böylece sürekli internet bağlantısına gereksinim duymadan çiftlik düzeyinde davranış izlemenin mümkün olabileceğini göstermiştir.
Ancak teknik altyapıya ilişkin bu gelişmelere karşın veri güvenliği, gizliliği ve sahipliği, modelin aşırı uyum göstermesi ve biyolojik süreçlerin tüm karmaşıklığıyla algoritmalar tarafından temsil edilememesi önemli sınırlılıklar arasında yer almaktadır (Neethirajan, 2020; Abdelrahman ve ark., 2026; Ryan ve Blok, 2026). Bu nedenle YZ sistemlerinin hayvansal üretimde etkin biçimde kullanılabilmesi için yalnızca teknik doğruluğun değil; veri kalitesi, sistemler arası uyumluluk, sensör güvenilirliği, ekonomik uygulanabilirlik, saha koşullarına uyum ve model genellenebilirliğinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

4. GELECEĞE YÖNELİK BEKLENTİLER

Hayvansal üretimde YZ uygulamalarının gelecekte yalnızca mevcut verilerin analiz edilmesiyle sınırlı kalmayacağı, üretim süreçlerinin daha bütüncül ve gerçek zamanlı biçimde yönetilmesine yönelik sistemlere dönüşeceği öngörülmektedir. Bu yaklaşım mera hayvancılığında da önem kazanmaktadır. Sensörler, insansız hava araçları ve uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen verilerin sanal çit teknolojileriyle birlikte kullanılması; hayvan davranışı, mera verimi, toprak özellikleri ve çevresel koşulların dikkate alındığı daha dinamik ve veri temelli bir otlatma yönetimine katkı sağlayabilir (Zhang ve ark., 2026; Atay ve ark., 2026).
Özellikle görüntü, ses, biyosensör ve çevresel verilerin birlikte değerlendirildiği çok modlu veri entegrasyonu yaklaşımlarının, hayvan sağlığı, refahı ve üretim performansının daha kapsamlı biçimde izlenmesine katkı sağlayabileceği belirtilmektedir (Neethirajan, 2020). Farklı kaynaklardan elde edilen verilerin işletme kayıtlarıyla bütünleştirilmesi, tek bir veri kaynağına dayalı yaklaşımların sınırlılıklarını azaltarak daha kapsamlı karar destek sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bu doğrultudaki gelişme alanlarından biri, makine öğrenmesi ile dijital ikiz teknolojilerinin bütünleştirilmesidir. Dijital ikizler, hayvanın veya üretim sisteminin sensörler ve işletme kayıtlarından elde edilen verilerle sürekli güncellenen sanal bir temsilinin oluşturulmasına olanak sağlayarak sağlık, davranış, besleme ve üretimle ilişkili değişimlerin tahmin edilmesine ve farklı yönetim senaryolarının sanal ortamda değerlendirilmesine katkı sağlayabilir (Abdelrahman ve ark., 2026).
Gelecekte YZ sistemlerinin yalnızca tahmin ve sınıflandırma yapan araçlar olmaktan çıkarak yarı otonom veya otonom üretim süreçlerinde daha etkin rol üstlenmesi beklenmektedir. Gerçek zamanlı veri akışıyla çalışan sistemler, hayvan davranışındaki veya fizyolojik durumdaki değişiklikleri erken aşamada belirleyerek yetiştiriciye uyarı verilmesini ve bazı yönetim kararlarının otomatik olarak desteklenmesini mümkün kılabilir (Abdelrahman ve ark., 2026; Li ve ark., 2026). Bu gelişmeler, özellikle büyük sürülerde bireysel hayvan takibinin daha sürekli yürütülmesine ve işletme yönetiminde karar alma süreçlerinin hızlandırılmasına katkı sağlayabilir.
Bununla birlikte, gelecekteki YZ uygulamalarında yalnızca model performansının artırılması yeterli olmayacaktır. Açıklanabilir YZ yaklaşımlarının geliştirilmesi, sistem tarafından üretilen sonuçların yetiştirici ve teknik personel tarafından anlaşılabilmesi ve denetlenebilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle hayvan sağlığı ve refahı gibi doğrudan yönetim

kararlarını etkileyen alanlarda, bir modelin yalnızca doğru sonuç üretmesi değil, bu sonuca hangi değişkenlerin katkısıyla ulaştığının da açıklanabilir olması gerekmektedir (Samek ve ark., 2017; Barredo Arrieta ve ark., 2020).

YZ'nin sürdürülebilir hayvansal üretim hedefleriyle bütünleştirilmesi de gelecekte önem kazanacak alanlardan biridir. Hayvan, çevre ve üretim verilerinin birlikte değerlendirilmesi; yem verimliliğinin artırılması, daha az antibiyotik ve ilaç kullanımı, su ve diğer kaynakların daha etkin kullanılması, çevresel koşulların izlenmesi ve üretim süreçlerinin daha verimli planlanması açısından önemli olanaklar sunmaktadır (Neethirajan, 2020; Monteiro ve Gökdal, 2026b; Zhang ve ark., 2026). Bununla birlikte, bu teknolojilerin yaygınlaşabilmesi için düşük maliyetli, ölçeklenebilir, farklı üretim sistemlerine uyarlanabilir ve kullanıcı dostu çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle gelecekteki araştırmaların yalnızca daha yüksek doğruluk sağlayan modeller geliştirmeye değil, farklı işletme koşullarında güvenilir biçimde kullanılabilecek sistemlerin oluşturulmasına da odaklanması önem taşımaktadır.

YZ uygulamalarının hayvansal üretimde yaygınlaşması, teknik ve ekonomik koşulların yanı sıra hukuki düzenlemeler ve standartlarla da ilişkilidir. Avrupa Birliği YZ Tüzüğü risk temelli bir düzenleme çerçevesi sunarken, ISO/IEC 42001 ve ISO/IEC 23894 standartları YZ yönetimi ve risk yönetimine, NIST AI Risk Management Framework ise güvenilir YZ uygulamalarına yönelik rehberlik sağlamaktadır (European Union, 2024; ISO/IEC, 2023a, 2023b; Tabassi, 2023). Bu çerçeveler, hayvansal üretimde kullanılan YZ sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında veri güvenliği, şeffaflık, izlenebilirlik ve insan denetimi gibi konuların dikkate alınması açısından önem taşımaktadır.

5. SONUÇ

YZ teknolojileri, hayvansal üretimde sürü izleme ve davranış analizi, hastalıkların ve sağlık sorunlarının erken belirlenmesi, verim tahmini, hassas besleme, üreme yönetimi, barınak ve çevre yönetimi ile kayıt yönetimi ve karar destek sistemleri gibi farklı alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Sensörler, kamera sistemleri, biyosensörler ve diğer dijital veri kaynaklarının makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle birlikte kullanılması; hayvanların bireysel düzeyde izlenmesine, barınak içi çevresel koşulların değerlendirilmesine, havalandırma ve enerji yönetiminin iyileştirilmesine ve üretim süreçlerinin daha veri temelli biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca farklı kaynaklardan elde edilen işletme kayıtlarının bütünleştirilmesi ve YZ yöntemleriyle değerlendirilmesi, yetiştiricilik ve işletme yönetimine ilişkin kararların desteklenmesine katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, YZ tabanlı sistemlerin başarısı yalnızca yüksek doğruluk oranlarıyla değerlendirilmemelidir. Kontrollü koşullarda geliştirilen modellerin farklı işletme yapıları, ırklar, çevresel koşullar ve yetiştirme sistemlerinde benzer performansı göstermesi her zaman mümkün değildir. Veri kalitesi, sensör güvenilirliği, farklı veri kaynaklarının bütünleştirilebilmesi, model genellenebilirliği, yatırım maliyetleri, teknik altyapı ve kullanıcı uyumu, bu sistemlerin saha koşullarındaki uygulanabilirliğini belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte bugün önemli bir sınırlılık olarak görülen bazı teknik ve ekonomik sorunların zaman içerisinde azalması beklenebilir. Sensör, akıllı tasma, kamera ve benzeri donanımların daha küçük, hafif, enerji verimli ve düşük maliyetli hâle gelmesi; veri işleme kapasitesinin artması ve YZ modellerinin daha hızlı ve erişilebilir olması, bu teknolojilerin daha geniş bir işletme grubunda kullanılmasını kolaylaştırabilir. Özellikle maliyetlerin azalması, YZ tabanlı sistemlerin yalnızca büyük ve yüksek sermayeli işletmelerde değil, küçük ve orta ölçekli hayvancılık işletmelerinde de yaygınlaşmasına katkı sağlayabilir.

Bu nedenle gelecekteki temel mesele yalnızca daha gelişmiş YZ sistemlerinin geliştirilmesi

değil, hayvansal üretimin dijital dönüşüme hazırlanmasıdır. Yetiştiricilerin ve teknik personelin dijital teknolojiler konusunda eğitilmesi, işletmelerin gerekli teknik altyapıyla desteklenmesi, veri kullanım kültürünün geliştirilmesi ve uygun yatırımların zamanında yapılması bu dönüşümün önemli unsurları olacaktır. Çok modlu veri entegrasyonu, açıklanabilir YZ, gerçek zamanlı karar destek sistemleri ve saha koşullarında doğrulanmış modellerin yaygınlaşmasıyla birlikte YZ'nin hayvansal üretimdeki rolünün daha da artacağı öngörülebilir.

Sonuç olarak, YZ'nin hayvansal üretimde gerçek değerini belirleyecek temel unsur yalnızca deneysel ortamlarda ulaşılan yüksek model performansı değil, bu performansın farklı üretim koşullarında güvenilir, ekonomik, erişilebilir ve sürdürülebilir biçimde sahaya aktarılabilmesidir. Bu nedenle hayvansal üretim sistemlerinin dijital çağa hazırlanması, geleceğin rekabetçi ve sürdürülebilir hayvancılığı açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abdelrahman M, Issa S, Elsayed Ali M, Alotaibi J, Alshanbari F (2026). From machine learning to digital twin integration for livestock production and research. *Frontiers in Veterinary Science* 13, 1744053. https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1744053

Abdel-Wareth AAA, Ahmed AA (2026). Advancing poultry nutrition: AI innovations for sustainable nutrient requirements of poultry: A review. *Agriculture* 16, 450. https://doi.org/10.3390/agriculture16040450

Achour B, Belkadi M, Filali I, Laghrouche M, Lahdir M (2020). Image analysis for individual identification and feeding behaviour monitoring of dairy cows based on convolutional neural networks (CNN). *Biosystems Engineering* 198, 31–49. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.019

Ahmed MM, Hassanien EE, Hassanien AE (2024). A smart IoT-based monitoring system in poultry farms using chicken behavioural analysis. *Internet of Things* 25, 101010. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101010

Akintan O, Gebremedhin KG, Uyeh DD (2024). Animal feed formulation—Connecting technologies to build a resilient and sustainable system. *Animals* 14(10), 1497. https://doi.org/10.3390/ani14101497

Andrew W, Gao J, Mullan SM, Campbell NW, Dowsey AW, Burghardt T (2021). Visual identification of individual Holstein-Friesian cattle via deep metric learning. *Computers and Electronics in Agriculture* 185, 106133. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106133

Angeles-Hernandez JC, Castro-Espinoza FA, Peláez-Acero A, Salinas-Martinez JA, Chay-Canul AJ, Vargas-Bello-Pérez E (2022). Estimation of milk yield based on udder measures of Pelibuey sheep using artificial neural networks. *Scientific Reports* 12, 9009. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12868-0

Arnaldy D, Sukoco H, Neyman SN, Muladno, Seminar KB (2022). Cattle breeding management using smart system: A systematic literature review. *2022 5th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE).* IEEE. https://doi.org/10.1109/IC2IE56416.2022.9970169

Atay O, Gökdal Ö, Özuğur AK, Eren V (2026). Potential applications of virtual fencing technology in extensive goat production in Türkiye. Oral presentation presented at the II. International Evliya Çelebi Scientific Studies Congress, 3–4 October 2026, Mardin, Türkiye.

Bach A (2026). Using artificial intelligence to make feeding and management decisions in dairy herds. *Animal Frontiers* 16(2), 78–85. https://doi.org/10.1093/af/vfaf059

Bahlo C, Dahlhaus P, Thompson H, Trotter M (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 156, 459–466. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.007

Bakir ME, Perea AR, Funk M, Rahman S, Spetter MJ, Macon L, Cox A, Estell RE, Cao H, Cibils AF, Spiegal SA, Bestelmeyer BT, Utsumi SA (2026). A scalable, end-to-end IoT and remote sensing platform for precision rangeland and livestock management. *Computers and Electronics in Agriculture* 247, 111615. https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111615

Barredo Arrieta A, Díaz-Rodríguez N, Del Ser J, Bennetot A, Tabik S, Barbado A, (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion* 58, 82–115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012

Besieda A, Kraft M, Shafiullah AZ, Ortland A, Katenkamp O, Halberstadt J, Umstätter C (2026). Dataflows and determinants of automated data collection among progressive German livestock farms. *Smart Agricultural Technology* 13, 101888. https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101888

Bordignon F, Provolo G, Riva E, Caria M, Todde G, Sara G, Cesarini F, Grossi G, Vitali A, Lacetera N, Pezzuolo A (2025). Smart technologies to improve the management and resilience to climate change of livestock housing: A systematic and critical review. *Italian Journal of Animal Science* 24(1), 376–392. https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2455500

Cao M, Yi Q, Wang K, Li J, Wang X (2023). Predicting ventilation rate in a naturally ventilated dairy barn in wind-forced conditions using machine learning techniques. *Agriculture* 13(4), 837. https://doi.org/10.3390/agriculture13040837

Çevik KK, Koçer HE, Boğa M (2022). Deep learning based egg fertility detection. *Veterinary Sciences* 9, 574. https://doi.org/10.3390/vetsci9100574

Dao SD, Khodadadian Gostar A, Tennakoon R, Chuah WQ, Bab-Hadiashar A (2026). Modernizing livestock operations: Smart feedlot technologies and their impact. *Animals* 16(8), 1244. https://doi.org/10.3390/ani16081244

Devi P, Nath SK, Barua B, Saha T (2026). Big data and artificial intelligence in animal nutrition: A new era of precision feeding. *Tropical Animal Health and Production* 58, 267. https://doi.org/10.1007/s11250-026-05077-8

Dineva K, Atanasova T (2023). Health status classification for cows using machine learning and data management on AWS cloud. *Animals* 13(20), 3254. https://doi.org/10.3390/ani13203254

Emsen E, Kutluca Korkmaz M, Odevci BB (2025). Artificial Intelligence-Assisted Selection Strategies in Sheep: Linking Reproductive Traits with Behavioral Indicators. *Animals* 15, 2110. https://doi.org/10.3390/ani15142110

Engelbrecht D, Steyn N, Djouani K, Bosman H (2026). Precision farming: A review of artificial intelligence applications in broiler poultry farming. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 38, 1–13. https://doi.org/10.3897/ejfa.2026.172240

European Union (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*.

FAO (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Automation in Agriculture for Transforming Agrifood Systems.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Feng D, Zhou B, Hassan SG, Xu L, Liu T, Cao L, Liu S, Guo J (2022). A hybrid model for temperature prediction in a sheep house. *Animals* 12(20), 2806. https://doi.org/10.3390/ani12202806

Fote FN, Roukh A, Mahmoudi S, Mahmoudi SA, Debauche O (2020). Toward a big data knowledge-base management system for precision livestock farming. *Procedia Computer Science* 177, 136–142. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.021

García R, Aguilar J, Toro M, Pinto A, Rodríguez P (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 179, 105826. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826

Grishina LS, Zhigalov AY, Bolodurina IP, Shukhman AE, Niryan PL, Kvan OV, Sheida EV (2025). Machine learning-driven analysis of feed additives and intestinal microbiota diversity in broiler chickens: Clustering of mineral profiles and predictive diet modeling. *Veterinary World* 18(11), 3390–3408. https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.3390-3408

Hamadani A, Ganai NA (2022). Development of an AI and IoT driven decision support system for sheep breeding farms. *Research Square* [Ön baskı]. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1675658/v1

Hu C, Li L, Huo L, Jia Y, Xie Z, Yu Y (2026). Double deep Q-network for intelligent control and energy efficiency optimization of zonal ventilation in laying-hen houses. *Smart Agricultural Technology* 13, 101753. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101753

ISO/IEC (2023a). *ISO/IEC 42001:2023 Information Technology — Artificial Intelligence — Management System.* International Organization for Standardization.

ISO/IEC (2023b). *ISO/IEC 23894:2023 Information Technology — Artificial Intelligence — Guidance on Risk Management.* International Organization for Standardization.

Jukan A, Masip-Bruin X, Amla N (2017). Smart computing and sensing technologies for animal welfare: A systematic review. *ACM Computing Surveys* 50(1), 1–27. https://doi.org/10.1145/3041960

Kamphuis C, Mollenhorst H, Heesterbeek JAP, Hogeveen H (2010). Detection of clinical mastitis with sensor data from automatic milking systems is improved by using decision-tree induction. *Journal of Dairy Science* 93(8), 3616–3627. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3228

Kumar S, Pandey A, Sai Ram Satwik K, Kumar S, Singh SK, Singh AK, Mohan A (2018). Deep learning framework for recognition of cattle using muzzle point image pattern. *Measurement* 116, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.064

Li J, Zhang W, Ren X, He J, Wang L, Lv J, Lin K, Du W, Chen R (2026). BoviFusionNet: A Lightweight Edge-

Deployable AI System for Cattle Behavior Recognition in Livestock Monitoring. *Veterinary Sciences* 13(7), 697. https://doi.org/10.3390/vetsci13070697
Li M, Zhou Z, Zhang Q, Zhang J, Suo Y, Liu J, Shen D, Luo L, Li Y, Li C (2024). Multivariate analysis for data mining to characterize poultry house environment in winter. *Poultry Science* 103, 103633. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103633
Liakos KG, Busato P, Moshou D, Pearson S, Bochtis D (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors* 18(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674
Mahmud MS, Zahid A, Das AK, Muzammil M, Khan MU (2021). A systematic literature review on deep learning applications for precision cattle farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 187, 106313. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106313
Manikandan V, Neethirajan S (2025). AI-powered vocalization analysis in poultry: Systematic review of health, behavior, and welfare monitoring. *Sensors* 25, 4058. https://doi.org/10.3390/s25134058
Mansour HAE-H (2025). Integration of assisted reproductive technologies and artificial intelligence for optimizing fertility and genetic selection in livestock production. *Discover Applied Sciences* 7, 1143. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07380-9
Marques TC, Marques LR, Fernandes PB, de Lima FS, do Prado Paim T, Leão KM (2024). Machine Learning to Predict Pregnancy in Dairy Cows: An Approach Integrating Automated Activity Monitoring and On-Farm Data. *Animals* 14, 1567. https://doi.org/10.3390/ani14111567
Mata F (2026). The Impact of Precision Livestock Farming Technologies on Productivity, Animal Welfare, and Environmental Sustainability. *J* 9, 13. https://doi.org/10.3390/j9020013
McLennan KM, Mahmoud M (2019). Development of an automated pain facial expression detection system for sheep. *Animals* 9(4), 196. https://doi.org/10.3390/ani9040196
Mekonnen GB (2026). Precision housing dynamics in poultry: AI-driven predictive systems for welfare, behavior, and skeletal health. *Poultry Science and Management* 3, 10. https://doi.org/10.1186/s44364-026-00025-6
Mohialdin AM, Elbarrany AM, Atia A (2023). Chicken behavior analysis for surveillance in poultry farms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 14(3), 935–942. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.01403106
Monteiro, A.M.C., Gökdal, Ö. (2026a). Contribution of precision farming to sustainability and environment. In A. Monteiro & C. Kole (Eds.), NextGen agriculture: Novel concepts & innovative strategies. Precision livestock farming (1st ed., pp. 1–20). Taylor & Francis, Routledge. https://doi.org/10.1201/9781003623427-1
Monteiro, A.C. and Gökdal, Ö. 2026b. Advances in measuring the water footprint of dairy farming. Achieving net zero dairy farming (Edited by Emeritus Professor John Webster University of Bristol, UK) Burleigh Dodds Series In Agrıcultural Science, Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2026, 25 p., http://dx.doi.org/10.19103/AS.2025.0157.07 Webster J. (ed.), Achieving net zero dairy farming, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2026, (ISBN: 978 1 83545 018 5; www.bdspublishing.com).
Morrone S, Dimauro C, Gambella F, Cappai MG (2022). Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up-to-date overview across animal productions. *Sensors* 22(12), 4319. https://doi.org/10.3390/s22124319
Moss AF, Chrystal PV, Cadogan DJ, Wilkinson SJ, Crowley TM, Choct M (2021). Precision feeding and precision nutrition: A paradigm shift in broiler feed formulation? *Animal Bioscience* 34(3), 354–362. https://doi.org/10.5713/ab.21.0034
Nasirahmadi A, Edwards SA, Sturm B (2017). Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science* 202, 25–38. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014
Neethirajan S (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research* 29, 100367. https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367
Ntshehi G, Nephawe KA, Idowu PA, Mpofu TJ (2026). Reproductive performance and predictive models for litter size in sows: A narrative review. *Frontiers in Animal Science* 7, 1896800. https://doi.org/10.3389/fanim.2026.1896800
Oliveira CP, Sousa FC, Silva AL, Schultz ÉB, Valderrama Londoño RI, Souza PAR (2025). Heat stress in dairy cows: Impacts, identification, and mitigation strategies—A review. *Animals* 15(2), 249. https://doi.org/10.3390/ani15020249
Ortenzi L, Violino S, Costa C, Figorilli S, Vasta S, Tocci F, Moscovini L, Basiricò L, Evangelista C, Pallottino F, Bernabucci U (2023). An innovative technique for faecal score classification based on RGB images and artificial intelligence algorithms. The *Journal of Agricultural Science*, 161(2), 291–296. https://doi.org/10.1017/S0021859623000114
Ott TL, Tibary A, Waqas M, Geisert R, Giordano J (2025). Pregnancy establishment and diagnosis in livestock. *Annual Review of Animal Biosciences* 13, 211–232. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021022-032214

Perez Garcia CA, Tassinari P, Torreggiani D, Bovo M (2025). Predictive modeling of energy consumption for cooling ventilation in livestock buildings: A machine learning approach. *Energies* 18(3), 633. https://doi.org/10.3390/en18030633

Rao Y, Jiang M, Wang W, Zhang W, Wang R (2020). On-farm welfare monitoring system for goats based on Internet of Things and machine learning. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 16(7). https://doi.org/10.1177/1550147720944030

Rawdhan SA, Abdelhamid MA, Anwer AA, Shaaban FM (2026). An IoT and machine learning approach for predicting air quality parameters in poultry houses. *Journal of Biosystems Engineering* 51, 15. https://doi.org/10.1007/s42853-026-00300-8

Ren K, Alam M, Nielsen PP, Gussmann M, Rönnegård L (2022). Interpolation methods to improve data quality of indoor positioning data for dairy cattle. *Frontiers in Animal Science* 3, 896666. https://doi.org/10.3389/fanim.2022.896666

Rutten CJ, Velthuis AGJ, Steeneveld W, Hogeveen H (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 96, 1928–1952. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107

Ryan M, Blok V (2026). Artificial intelligence and animal farming: A scenario of drivers, barriers, and impacts in 2032. *Agriculture and Human Values* 43(1), 26. https://doi.org/10.1007/s10460-025-10806-0

Saar M, Edan Y, Godo A, Lepar J, Parmet Y, Halachmi I (2022). A machine vision system to predict individual cow feed intake of different feeds in a cowshed. *Animal* 16(1), 100432. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100432

Salleh SM, Danielsson R, Kronqvist C (2023). Using machine learning methods to predict dry matter intake from milk mid-infrared spectroscopy data on Swedish dairy cattle. *Journal of Dairy Research* 90(1), 5–8. https://doi.org/10.1017/S0022029923000171

Samek W, Wiegand T, Müller K-R (2017). Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. *ITU Journal: ICT Discoveries* 1(1), 39–48.

Schlageter-Tello A, Bokkers EAM, Groot Koerkamp PWG, van Hertem T, Viazzi S, Romanini CEB, Halachmi I, Bahr C, Berckmans D, Lokhorst K (2014). Manual and automatic locomotion scoring systems in dairy cows: A review. *Preventive Veterinary Medicine* 116(1–2), 12–25. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.06.006

Sharifuzzaman M, Mun H-S, Ampode KMB, Lagua EB, Park H-R, Kim Y-H, Hasan MK, Yang C-J (2024). Technological Tools and Artificial Intelligence in Estrus Detection of Sows—A Comprehensive Review. *Animals* 14, 471. https://doi.org/10.3390/ani14030471

Sharifuzzaman M, Mun H-S, Lagua EB, Hasan MK, Kang J-G, Kim Y-H, Mehtab A, Park H-R, Yang C-J (2026). Advances in Audio Classification and Artificial Intelligence for Respiratory Health and Welfare Monitoring in Swine. *Biology* 15, 177. https://doi.org/10.3390/biology15020177

Sokolova M, Lapalme G (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management* 45(4), 427–437. https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002

Tabassi E (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0).* NIST AI 100-1. National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1

Thomann B, Würbel H, Kuntzer T, Umstätter C, Wechsler B, Meylan M, Schüpbach-Regula G (2023). Development of a data-driven method for assessing health and welfare in the most common livestock species in Switzerland: The Smart Animal Health project. *Frontiers in Veterinary Science* 10, 1125806. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1125806

Tullo E, Finzi A, Guarino M (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment* 650, 2751–2760. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018

Tuyishime K, Adewusi MA, Mutesi W, Ahakundire P (2026). Machine learning prediction of goat reproductive success in smallholder farming systems. *Discover Computing* 29, 423. https://doi.org/10.1007/s10791-026-10342-3

Van Dijk M, Morley T, Rau ML, Saghai Y (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food* 2(7), 494–501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

Viazzi S, Bahr C, Schlageter-Tello A, Van Hertem T, Romanini CEB, Pluk A, Halachmi I, Lokhorst C, Berckmans D (2013). Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 96(1), 257–266. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5806

Walsh S (2024). *The Impact of Data Quality on Beef Genetics.* Yüksek lisans tezi, Munster Technological University, Ireland. Kurumsal arşiv kaydı: https://sword.mtu.ie/allthe/874

Wang R, Li Y, Tian F, Liu Y, Wang Z, Yuan C, Lu X (2025). Estrus detection in dairy cows using advanced object

tracking and behavioral analysis technologies. *Computers and Electronics in Agriculture* 235, 110331. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110331

Wolfert S, Ge L, Verdouw C, Bogaardt MJ (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems* 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Wu Z, Willems S, Liu D, Norton T (2025). How AI improves sustainable chicken farming: A literature review of welfare, economic, and environmental dimensions. *Agriculture* 15(19), 2028. https://doi.org/10.3390/agriculture15192028

Xu B, Wang W, Falzon G, Kwan P, Guo L, Chen G, Tait A, Schneider D (2020). Automated cattle counting using Mask R-CNN in quadcopter vision system. *Computers and Electronics in Agriculture* 171, 105300. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105300

Yüksel BF, Kalkan M, Kalkan C (2026). Artificial intelligence-assisted ultrasonographic evaluation of the superficial inguinal lymph node for the diagnosis of mastitis in dairy cows. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias* 36, e363974. https://doi.org/10.52973/rcfcv-e363974

Zhang J, Usman M, Hou F, Nan Z (2026). Artificial intelligence unleashes the wisdom of ancient ranches: Returning grasslands to the grasslands. *Agricultural Systems* 236, 104743. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2026.104743

Zhang W, Zheng P, Wu L, Chen C (2024). Research on reinforcement learning-based modeling of environmental control in confined broiler houses. In: *2024 5th International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation (AIEA)*, pp. 1034–1038. IEEE. https://doi.org/10.1109/AIEA62095.2024.10692493

Zuidhof MJ (2020). Precision livestock feeding: Matching nutrient supply with nutrient requirements of individual animals. *Journal of Applied Poultry Research* 29(1), 11–14. https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.12.009

KUR'AN'DA İLETİŞİM DİLİ OLARAK ZİKİR

Prof. Dr. Alpaslan ALKIŞ
Kahramanmaraş Sutcu İmam University, Faculty of Theology, Department of Islamic Law, Kahramanmaraş, Turkiye
ORCID ID: 0000-0003-3401-7073
Prof. Dr. Ahmet ABAY
Kahramanmaraş Sutcu İmam University, Faculty of Theology, Department of Tefsir. Kahramanmaraş, Turkiye
ORCID ID: 0000-0001-8284-8336

ÖZET
İnsan, bireysel ve toplumsal varlığını sürdürebilmek için iletişime ihtiyaç duyan sosyal bir varlıktır. Duygu, düşünce ve bilgilerin çeşitli yollarla aktarılmasını ifade eden iletişim, yalnızca insanlar arasındaki bilgi alışverişiyle sınırlı olmayıp bireyin kendisiyle, toplumla ve dinî inanç sistemi içerisinde Allah ile kurduğu ilişkiyi de kapsamaktadır. Kur'an-ı Kerim'de iletişim, Allah-insan ilişkisi ve insanlar arasındaki ilişkiler bakımından çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilmektedir. Hz. Musa'nın annesi, Hz. İbrahim, Hz. Meryem ve Hz. Süleyman ile ilgili anlatımlar, iletişimin farklı biçimlerini ve muhatapların durumuna göre değişen özelliklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca Hz. Peygamber'in yumuşak, anlayışlı ve kırıcı olmayan iletişim üslubu, dinî tebliğde etkili iletişimin temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Arapça z-k-r kökünden türeyen zikir; hatırlamak, anmak, hatırda tutmak, söylemek, öğüt almak ve hatırlatmak gibi anlamlar taşımaktadır. Kur'an-ı Kerim'de bu kökten türeyen kelimelerin farklı bağlamlarda kullanılması, zikrin tek bir ibadet biçimine indirgenemeyecek kadar geniş bir anlam alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda zikir kelimesinin Kur'an'da hatırlama, Kur'an, kitap, vahiy, nasihat ve öğüt, namaz, şan ve şeref, anma, övgü ve bazı bağlamlarda alaya alma veya kusur bulma gibi anlamları ele alınmaktadır. Böylece kelimenin anlamının, kullanıldığı ayetin bağlamı ve dilsel özellikleri dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği ortaya konulmaktadır. Hadis kaynaklarında zikir, Allah ile kul arasındaki manevi ilişkinin güçlendirilmesini sağlayan, kalbin manevi canlılığını koruyan ve bireyin dinî sorumluluk bilincini geliştiren önemli bir ibadet olarak değerlendirilmektedir. Allah'ı bireysel veya toplu biçimde anmanın faziletine ilişkin rivayetler, zikir meclislerinin manevi değeri, tesbih, tahmid ve tekbir uygulamaları, uyku öncesinde zikir, zikir ile dua arasındaki ilişki ve zikrin diğer ibadetlerle bağlantısı üzerinde durulmaktadır. Ayrıca zikrin yalnızca belirli sözlerin tekrarlanmasıyla sınırlı olmadığı; Kur'an tilaveti, dinî ilimlerin öğrenilmesi, tefekkür, şükür ve Allah'a yönelik bilinçli bir yönelişle de ilişkili olduğu belirtilmektedir. Kur'an ve hadislerde ortaya konulan zikir anlayışı, Allah'ı belirli zamanlarda ve belirli ifadelerle anmanın ötesinde, insanın gündelik hayatında ilahî mesajı hatırda tutmasını, dinî sorumluluklarını bilinçli biçimde yerine getirmesini ve davranışlarını bu bilinç doğrultusunda düzenlemesini gerektiren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: İletişim, Zikir, Kur'an-ı Kerim, Hadis, Vahiy, Dinî İletişim

ZIKR AS A LANGUAGE OF COMMUNICATION IN THE QUR'AN

ABSTRACT

Human beings are social beings who require communication in order to sustain their individual and social existence. Communication, which refers to the transmission of emotions, thoughts and information through various means, is not limited solely to the exchange of information between people; it also encompasses the relationship an individual establishes with themselves, with society, and with Allah within the framework of their religious belief system. In the Holy Qur'an, communication is regarded as a multi-dimensional phenomenon in terms of the relationship between Allah and humankind, as well as relationships amongst people. The narratives concerning the mother of Prophet Moses, Prophet Abraham, the Virgin Mary and Prophet Solomon highlight the different forms of communication and their characteristics, which vary according to the circumstances of those involved. Furthermore, the Prophet's gentle, understanding and non-offensive style of communication is regarded as one of the fundamental elements of effective communication in religious preaching. Derived from the Arabic root z-k-r, the term 'zikr' carries meanings such as to remember, to commemorate, to keep in mind, to speak, to take advice and to remind. The use of words derived from this root in various contexts within the Holy Qur'an demonstrates that 'zikr' possesses a semantic scope so broad that it cannot be reduced to a single form of worship. In this regard, the meanings of the word 'zikr' in the Qur'an—such as remembrance, the Qur'an, the Book, revelation, counsel and advice, prayer, glory and honour, commemoration, praise, and, in certain contexts, mockery or finding fault—are examined. It is thus demonstrated that the meaning of the word must be determined by taking into account the context of the verse in which it is used and its linguistic characteristics. In hadith sources, zikr is regarded as an important act of worship that strengthens the spiritual relationship between Allah and His servant, preserves the spiritual vitality of the heart, and develops the individual's sense of religious responsibility. The text focuses on narrations regarding the virtues of remembering Allah individually or collectively; the spiritual value of zikr gatherings; the practices of tasbih, tahmid and takbir; zikr before sleep; the relationship between zikr and supplication; and the connection between zikr and other acts of worship. Furthermore, it is emphasised that dhikr is not limited merely to the repetition of specific words; it is also associated with the recitation of the Qur'an, the study of religious sciences, contemplation, gratitude and a conscious turning towards Allah. The understanding of zikr presented in the Qur'an and hadiths offers a comprehensive approach that goes beyond merely remembering Allah at specific times and with specific phrases; it requires a person to keep the divine message in mind in their daily life, to fulfil their religious responsibilities consciously, and to regulate their behaviour in accordance with this awareness.

Keywords: Communication, Dhikr, Qur'an, Hadith, Revelation, Religious Communication,

GİRİŞ

İnsan, inanç ve anlam arayışı çerçevesinde aşkın varlıkla ilişki kurma ihtiyacı duyan bir varlıktır. İslam düşüncesinde bu ilişkinin temel dayanaklarından biri, Allah'ın hatırda tutulması ve ilahî rehberliğin insanın düşünce ve davranışlarına yön vermesidir. Zikir kavramı, bu bakımdan yalnızca dil ile yapılan anmayı değil, Allah bilincinin kalpte ve zihinde canlı tutulmasını da ifade eder. Kur'an'da yer alan "*Andolsun, insanı biz yarattık ve nefsinin ona verdiği vesveseyi de biliriz. Çünkü biz ona şah damarından daha yakınız*" (Kāf 50/16) ayeti, Allah'ın insana yakınlığı bağlamında sıklıkla ele alınan ayetlerden biridir. Bu yakınlığın mahiyeti, ilahî bilgi ve kuşatıcılık çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Kur'an'da dua eden kişinin Allah'a doğrudan yönelişine de vurgu yapılır: "*Kullarım sana beni sorduklarında bilsinler ki ben yakınım. Bana dua ettiğinde dua edenin duasına karşılık veririm*" (el-Bakara 2/186). Benzer şekilde, "*Bana dua edin, duanıza karşılık vereyim*" (el-Mü'min 40/60) buyurulur. Bu ayetler, Allah'a yönelişin temelinde aracısız dua ve kulluk bilincinin bulunduğunu göstermesi bakımından önem taşır.

Zikir kelimesi Kur'an'da farklı türevleriyle çok sayıda ayette geçmekte ve bağlama göre çeşitli anlamlar kazanmaktadır. Kelimenin kimi kullanımlarda hatırlama ve anma, kimi kullanımlarda Kur'an veya ilahî kitap, kimi kullanımlarda ise öğüt, uyarı, namaz ya da şan ve şeref anlamında yorumlandığı görülür. Bu anlam çeşitliliği, zikrin Kur'an'daki yerini belirli ritüellerle sınırlı bir kavram olarak ele almanın yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

1 İletişim ve Zikir Kavramları

1.1. İletişim Kavramı

İletişim, bireylerin bilgi, duygu ve düşüncelerini çeşitli yollarla birbirlerine aktarmalarını ve bu aktarım sürecinde anlam üretmelerini ifade eder. Sözlü ve yazılı dilin yanı sıra beden dili, jestler, mimikler ve diğer işaret sistemleri de iletişim sürecinin unsurlarıdır. İletişim, toplumsal hayatın sürdürülmesi ve ortak anlam dünyalarının oluşması bakımından temel bir işleve sahiptir. Bu açıdan iletişim, bireysel ve toplumsal düzeyde ortaya çıkan maddi ve manevi birikimin oluşumunda önemli rol oynar (Gümrükçüoğlu, 2013: 74).

İletişim çoğu zaman karşılıklı bilgi alışverişi biçiminde tanımlansa da her iletişim biçimi aynı düzeyde ve aynı yöntemle gerçekleşmez. Kaynak, mesaj, kanal, alıcı ve yorumlama süreci iletişimin temel unsurları arasında sayılabilir. İletişimin gerçekleştiği ortam, tarafların bilgi ve hazır bulunuşluk düzeyleri ile kullanılan işaretlerin niteliği, mesajın anlaşılmasını etkiler (Şimşek, 2001: 26).

1.2. Zikir Kavramı

Zikir kelimesi Arapçada anmak, hatırlamak, bir şeyi zihinde veya gönülde hazır bulundurmak, dile getirmek ve hatırlatmak gibi anlamlara gelir. Kelimenin sözlük anlamları arasında söyleme, ezberleme, muhafaza etme, övme ve bir şeyi gündeme getirme gibi kullanımlar bulunmaktadır (İbn Manzûr, 1990: 4/308). Kur'an'da zikir ve aynı kökten türeyen kelimeler farklı kalıplarda çok sayıda ayette kullanılır.

Dinî terminolojide zikir, Allah'ı dil ve kalp ile anmayı, O'nu hatırda tutmayı, isim ve sıfatlarını anmayı ve ilahî buyrukları düşünerek bunlara uygun davranmayı kapsar. Tasavvuf literatüründe sesli zikir (cehrî), sessiz zikir (hafî) ve kalbî zikir gibi tasnifler yapılmıştır (Ateş, 1966: 237). Bu tasnifler zikrin uygulama biçimlerini gösterse de kavramın Kur'an'daki anlam alanı bunlarla sınırlı değildir.

Zikir, dil ile yapılan anmanın yanı sıra kalpte hatırlama ve düşünme biçiminde de gerçekleşir. Kur'an'da "*içinde iyilik bulunan bir zikir/kitap*" ifadesi (el-Enbiyâ 21/10) ile hac ibadetinden sonra Allah'ın anılmasını emreden ayet (el-Bakara 2/200), kelimenin farklı bağlamlarda kullanılışına örnek teşkil eder. Kur'an'daki kullanımlarda nimetleri hatırlama, şükretme, ayetler üzerinde düşünme, ibret alma, Kur'an okuma, dua etme ve Allah'ı yüceltme gibi anlamlar da zikrin anlam çevresine dâhil olmaktadır.

1.3. Kur'an'da İletişim Biçimleri

Kur'an, Allah'ın insanlara yönelik mesajlarını içeren ilahî bir kitap olarak Allah-insan ilişkisini farklı boyutlarıyla ele alır. Kur'an'da iletişim yalnızca sözlü aktarım şeklinde sunulmaz; vahiy, peygamberlerin tebliği, öğüt, kıssa ve yaratılış delilleri de ilahî mesajın insanlara ulaştırılmasında önemli bir yer tutar. Bu iletişimin temel hedeflerinden biri, insanın ilahî rehberliği tanıması ve kulluk bilinci doğrultusunda hayatını düzenlemesidir (Gümrükçüoğlu, 2013: 838).

Hucurât suresinin 13. ayeti, *"insanların farklı topluluklara ayrılmasını tanışma ve karşılıklı ilişki kurma*" amacıyla açıklar. Fâtır suresinin 24. ayetinde *her topluluğa bir uyarıcının gönderildiği* bildirilirken Bakara suresinin 129. ayetinde peygamberin *ayetleri okuma, kitabı ve hikmeti öğretme ve insanları arındırma* görevlerine dikkat çekilir. Bu örnekler, tebliğ ve öğretimin Kur'an'da iletişimle ilişkili temel işlevler arasında yer aldığını gösterir.

Şûrâ suresinin 51. ayeti, *Allah'ın insanla konuşmasının vahiy, perde arkasından hitap veya bir elçi gönderilmesi yoluyla gerçekleştiğini* bildirir. İslamî kaynaklarda Cebrâil'in peygamberlere vahiy getirmesi, bu iletişimin başlıca örneklerinden biri olarak ele alınır. Buhârî'de aktarılan rivayette Hz. Peygamber, vahyin kimi zaman çan sesine benzer bir biçimde geldiğini, kimi zaman da meleğin insan suretinde göründüğünü ifade eder (Buhârî, Bed'ü'l-vahy, 2).

Kur'an'da Hz. Musa'nın annesine yönelik ilham (Tâhâ 20/38-39; Kasas 28/7), Hz. İbrahim'in rüyası (es-Sâffât 37/102) ve Hz. Meryem'e melek aracılığıyla verilen müjde (Âl-i İmrân 3/42-43; Meryem 19/19) gibi örnekler de yer alır. Bununla birlikte vahyin peygamberlere özgü mahiyeti ile diğer insanlarda görülebilecek ilham veya içsel yönelişler birbirine karıştırılmamalıdır. Bu örnekler, Kur'an'ın Allah-insan ilişkisini farklı anlatım biçimleriyle ele aldığını göstermektedir.

Kur'an'da Hz. Süleyman'a kuşların dilinin öğretildiğinden söz edilmesi (en-Neml 27/16-17), farklı varlık türleri arasındaki iletişim temasına da işaret eder. Öte yandan Hac suresinin 52. ayeti, şeytanın peygamberlerin tebliğ sürecine müdahale etmeye çalışmasından söz ederek ilahî mesajın anlaşılması ve kabulü önündeki engelleri gündeme getirir.

Kur'an'ın iletişim anlayışında üslup da önemlidir. Âl-i İmrân suresinin 159. ayetinde Hz. Peygamber'in muhataplarına karşı yumuşak davranması, kaba ve katı bir tutumun insanları çevreden uzaklaştıracağı belirtilerek vurgulanır. Bu çerçevede iletişim, yalnızca mesajın aktarılmasını değil, muhataba saygılı ve yapıcı biçimde yaklaşmayı da içerir.

2. Kur'an'da Zikir Kavramı

Zikir kavramının tarihsel süreçte belirli söz ve uygulamalarla özdeşleştirilmesi, kelimenin daha geniş anlam alanının geri planda kalmasına yol açabilmektedir. Oysa Kur'an ve hadislerde zikir, yalnızca belirli kalıplarla yapılan tekrarları değil, müminin gündelik hayatına yön veren bir bilinç ve davranış biçimini de kapsar (Koçar, 2000: 1). Kur'an'da kelimenin farklı türevleriyle 292 yerde geçtiği belirtilmektedir. Bu yaygınlık, anlamın ayet bağlamı ve tefsir geleneği dikkate alınarak belirlenmesini gerekli kılar.

2.1. Anmak ve Hatırlamak

Zikir kelimesinin temel anlamlarından biri hatırlamaktır. Âl-i İmrân suresinin 135. ayetinde, bir kötülük işlediklerinde veya kendilerine haksızlık ettiklerinde Allah'ı hatırlayıp bağışlanma dileyen kimselerden söz edilir. Bakara suresinin 40. ayetinde İsrailoğullarına Allah'ın nimetlerini hatırlamaları ve verdikleri sözü yerine getirmeleri emredilir. İnsan suresinin 25. ayetinde ise sabah akşam Rabbin adının anılması istenir. Bu örneklerde zikir, geçmişteki bir bilgiyi hatırlamaktan öte, Allah bilincinin davranışlara yön vermesini sağlayan bir farkındalık olarak öne çıkar.

Bununla birlikte kelime bazı bağlamlarda bir kimseyi anmak, bir konudan söz etmek veya alay ve eleştiri amacıyla gündeme getirmek anlamında da kullanılır. Enbiyâ suresinin 36. ve 60. ayetlerinde inkârcıların Hz. İbrahim ve Hz. Peygamber hakkındaki alaycı sözleri aktarılır. Dolayısıyla kelimenin anlamı belirlenirken yalnızca sözlük karşılığına değil, ayetin bağlamına da başvurulmalıdır.

2.2. Kur'an ve Vahiy Anlamı

Bazı ayetlerde zikir kelimesi doğrudan Kur'an'ı veya ilahî vahyi ifade eder. Tâhâ suresinin 99. ayetinde geçmiş toplulukların haberlerinin anlatılmasının ardından Hz. Peygamber'e katından

bir zikir verildiği bildirilir. Enbiyâ suresinin 50. ayetinde Kur'an, mübarek bir zikir olarak nitelendirilir. Hicr suresinin 9. ayetinde zikrin Allah tarafından indirildiği ve korunacağı belirtilir. Müfessirlerin çoğu bu ayetteki zikri Kur'an olarak yorumlamıştır (Yazır, 1992: 5/33). Kur'an'ın zikir olarak adlandırılması, onun insanlara dinî ve dünyevî konularda rehberlik etmesi, ilahî nimetleri hatırlatması, uyarı ve öğüt içermesi ve muhataplarına değer kazandırmasıyla ilişkilendirilmiştir (Râzî, 1989: 22/97). Yâsîn suresinin 11. ayetinde zikre uyan kimsenin uyarılabileceğinin belirtilmesi de kelimenin Kur'an anlamında yorumlandığı örnekler arasında yer alır. Bununla birlikte bazı ayetlerde "zikir" kelimesi öğüt, uyarı veya vahiy anlamlarına da gelebilir; yorumda bağlamın dikkate alınması gerekir.

2.3. Kitap ve Ehl-i Zikir

Nahl suresinin 43. ayetinde, önceki peygamberlerin de kendilerine vahiy gönderilen erkeklerden seçildiği belirtilmekte ve bu konuda bilgi sahibi olunmadığında "zikir ehline" başvurulması istenmektedir. Müfessirlerin bir kısmı bu ifadeyi Ehl-i kitap, yani Yahudi ve Hıristiyanlar olarak açıklamış; bir kısmı ise önceki kutsal kitaplar veya bilgi sahibi kimseler şeklinde yorumlamıştır (Râzî, 1989: 20/210; Yazır, 1992: 5/223). Bu yorum farklılıkları, zikir kelimesinin bağlama göre kitap, bilgi ve önceki vahiy geleneğiyle ilişkili anlamlar kazanabildiğini göstermektedir.

2.4. Öğüt ve Uyarı

Zikir kelimesi Kur'an'da öğüt ve uyarı anlamında da kullanılır. Enbiyâ suresinin 50. ayetinde Kur'an'ın mübarek bir zikir olduğu belirtilirken Yûsuf suresinin 104. ayetinde peygamberlik görevinin şiir öğretmekle değil, öğüt ve apaçık Kur'an ile ilişkili olduğu bildirilir. Yâsîn suresinin 69. ayetinde Kur'an'ın bir öğüt ve apaçık bir kitap olduğu vurgulanır. Bu bağlamda zikir, insanı gafletten uzaklaştıran ve davranışlarını gözden geçirmeye çağıran ilahî hatırlatma işlevi görür.

2.5. Namaz ve Hutbe

Cuma suresinin 9. ayetinde cuma günü namaza çağrıldığında Allah'ı zikretmeye yönelme ve alışverişi bırakma emri yer alır. Müfessirler burada zikrin namazı ve hutbeyi kapsayabileceğini belirtmiştir. Elmalılı'ya göre cuma namazının şart ve esasları çerçevesinde ayetteki zikirden hutbe ve namazın anlaşılması mümkündür (Yazır, 1992: 7/311). Bakara suresinin 239. ayetinde de korku hâlinde namazın şartlara göre kılınması ve güven ortamı oluştuğunda Allah'ın öğrettiği şekilde anılması emredilir. Bu örnekler, zikrin namazla yakın ilişkisini ortaya koyar.

2.6. Şan ve Şeref

Zikir kelimesi bazı ayetlerde şan ve şeref anlamında yorumlanmıştır. İnşirâh suresinin 4. ayetindeki "Senin şanını yükseltmedik mi?" ifadesi bu bağlamda ele alınır (Ateş, 1991: 10/527). Enbiyâ suresinin 10. ayetinde insanlara içinde kendi şereflerinin bulunduğu bir kitabın indirildiğinin bildirilmesi de zikir kelimesinin şeref ve öğüt anlamlarıyla ilişkilendirilmesine örnektir. Zuhruf suresinin 44. ayetinde Kur'an'ın Hz. Peygamber ve kavmi için bir öğüt ve şeref olduğu belirtilir.

2.7. Övgüyle Anmak ve Şükretmek

Bakara suresinin 200. ayetinde hac ibadeti tamamlandıktan sonra Allah'ın, ataların anılmasından daha güçlü bir biçimde anılması emredilir. Taberî, ayeti Allah'ı övgü, şükür ve tekbirlerle anma bağlamında yorumlar (Taberî, 1996: 1/497-498). Bu yorum, zikrin yalnızca dilde tekrarlanan sözlerden ibaret olmadığını; nimetin farkına varma, şükretme ve Allah'ı yüceltme boyutlarını da içerdiğini ortaya koyar.

SONUÇ

Kur'an'da zikir kavramı, anlam bakımından geniş ve çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Kelime; anma ve hatırlamanın yanı sıra Kur'an, vahiy, kitap, öğüt, uyarı, namaz, şan ve şeref gibi

anlamlarda da kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik, zikir kavramının yalnızca belirli sözlerin tekrarlanması şeklinde anlaşılmasının yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Zikir, dil ile anmayı ve kalp ile hatırlamayı içerdiği gibi ilahî mesaj üzerinde düşünmeyi, nimetleri hatırlayıp şükretmeyi, ibret almayı ve Allah'ın emirleri doğrultusunda davranmayı da kapsamaktadır.

Kur'an'da Allah'ın insana yakınlığına ve dua edenin duasına karşılık vermesine yapılan vurgu, kulun Allah'a yönelişinde doğrudan dua ve kulluk bilincinin önemini göstermektedir (Kāf 50/16; el-Bakara 2/186; el-Mü'min 40/60). Bu ayetler değerlendirilirken Allah ile insan arasındaki ilişkinin mahiyeti gözetilmeli; beşerî iletişim modelleri ilahî ilişkiye bütünüyle ve doğrudan aktarılmamalıdır. İletişim kavramı, bu bağlamda ilahî hitap, dua ve kulluk ilişkisini açıklamaya yardımcı olan sınırlı bir kavramsal çerçeve sunmaktadır.

Hadis kaynaklarında zikir, kalbin canlılığı, Allah'a yakınlık, rahmet, sekînet ve bağışlanma ümidiyle ilişkilendirilir. Bununla birlikte zikrin kapsamı, belirli tesbih ve tekbir kalıplarından ibaret değildir. Kur'an okumak, dua etmek, hamd ve şükürde bulunmak, dinî bilgiyi öğrenmek ve ilahî buyrukları davranışlara yansıtmak da zikrin geniş anlam alanıyla ilişkilidir. Bu yaklaşım, zikrin bireyin gündelik hayatından kopuk bir uygulama değil, hayatın bütününe yayılan bir kulluk bilinci olduğunu ortaya koymaktadır.

Zikrin manevi ve psikolojik boyutları bakımından Kur'an'da huzur, güven, umut, tövbe ve gafletten uzaklaşma temaları öne çıkar. Bu temalar, zikrin inanan bireyin anlam dünyasında önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir. Ancak dinî metinlerdeki bu vurgular, deneysel araştırmalarla desteklenmesi gereken psikolojik veya klinik sonuçlarla özdeşleştirilmemelidir. Bilimsel değerlendirmelerde kavramsal ve yöntemsel ayrımların korunması gerekir.

Sonuç olarak zikir, Allah ile kul arasındaki manevi ilişkinin canlı tutulmasına katkı sağlayan temel bir kulluk pratiğidir. Allah'ı anmak, O'na yönelmek, ilahî mesajı hatırda tutmak ve bu mesajı davranışlara yansıtmak zikrin birbirini tamamlayan boyutlarıdır. Zikrin temel hedefi, yalnızca sözlü tekrarın gerçekleştirilmesi değil; tevhid bilincinin güçlenmesi, gafletin azalması, ahlaki sorumluluğun canlı tutulması ve hayatın Allah'a kulluk bilinci doğrultusunda düzenlenmesidir.

KAYNAKÇA

Ateş, S. (1966). "Zikir." *Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi.* 14.

Ateş, S. (1991). Kur'an-ı Kerim ve Yüce Meali. Ankara: Yeni Ufuklar Neşriyat.

Buhârî, M. (1981). Sahîhu'l-Buhârî. İstanbul: Çağrı Yayınevi.

Gümrükçüoğlu, S. (2013). "Kur'an'da Allah ve İnsan Arasındaki İletişim Kodları." *The Journal of Academic Social Science Studies* 6/4. 837-862.

Gümrükçüoğlu, S. (2013). "Kur'an'da İletişimin Önemi ve Bunun Önündeki Engeller." *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi.* 2 (3).

İbn Manzûr, M. (1990). *Lisânü'l-Arab.* Beyrut: Daru's-Sadr Yayınları.

Koçar, M. (2000). "İslam İnançları Açısından Zikir." *Süleyman Demirel Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi.* 7.

Razi, F. (1989). *Tefsir'i Kebir Mefâtihu'l-Gayb.* Ankara: Akçağ Yayınları.

Şimşek, M.A. (2001). "İletişim Unsurları Açısından Vahiy." *Cumhuriyet Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* 5/1.

Taberi, M. (1996). *Taberi Tefsiri.* Çvr. Hasan Karakaya-Kerim Aytekin. İstanbul: Hisar Yayınevi.

Yazır, H. (1992). *Hak Dini Kur'ân Dili.,* Trc. İsmail Karaçam-Emin ışık-N. Bolelli-A. Yücel. İstanbul: Azim Dağıtım Yay.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ALLAH-KUL İLİŞKİSİ BAĞLAMINDA KUR'AN'DA ZİKİR

Prof. Dr. Alpaslan ALKIŞ
Kahramanmaraş Sutcu İmam University, Faculty of Theology, Department of Islamic Law, Kahramanmaraş, Turkiye
ORCID ID: 0000-0003-3401-7073
Prof. Dr. Ahmet ABAY
Kahramanmaraş Sutcu İmam University, Faculty of Theology, Department of Tefsir. Kahramanmaraş, Turkiye
ORCID ID: 0000-0001-8284-8336

ÖZET
Kur'an-ı Kerim'de Allah ile insan arasındaki ilişki, yaratılış, iman, kulluk, dua, ibadet, ilahî hidayet, rahmet ve bağışlanma gibi farklı boyutlarıyla ele alınmaktadır. Söz konusu ilişkinin kurulmasında ve sürdürülmesinde önemli bir işleve sahip olan zikir, yalnızca Allah'ın adını dil ile anmaktan ibaret olmayıp insanın zihninde ve kalbinde Allah bilincini canlı tutmasını, O'nun varlığını ve kudretini düşünmesini, emir ve yasaklarını dikkate almasını ve bu bilinci davranışlarına yansıtmasını ifade etmektedir. Kur'an'da zikir, insanın Allah'a yönelişini gösteren bir kulluk biçimi olduğu kadar, Allah ile kul arasındaki ilişkinin sürekliliğini sağlayan temel bir iletişim dili olarak da öne çıkmaktadır. Zikrin anlam ve işlevinin doğru anlaşılabilmesi, kavramın yalnızca sözlü tekrarlar çerçevesinde değil, kalbî yöneliş, düşünme, tefekkür, ibadet ve ahlaki davranışlarla birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Zikir, dil, kalp ve beden olmak üzere birbirini tamamlayan boyutlara sahiptir. Dil ile gerçekleştirilen zikir; Allah'ı isim ve sıfatlarıyla anmayı, O'na hamd etmeyi, tesbihte bulunmayı, dua etmeyi ve Kur'an okumayı kapsamaktadır. Kalp ile zikir ise Allah'ın varlığına ve birliğine ilişkin deliller üzerinde düşünmeyi, ilahî isim ve sıfatları kavramaya çalışmayı, insanın kendi varlığını ve evreni yaratılışın anlamı bakımından değerlendirmesini ifade etmektedir. Bedenle gerçekleştirilen zikir, insanın organlarını ve davranışlarını kulluk bilinci doğrultusunda yönlendirmesi, ilahî emirleri yerine getirmesi ve yasaklardan kaçınmasıyla somutlaşmaktadır. Bu boyutlar arasındaki bütünlük, zikrin yalnızca belirli zamanlarda gerçekleştirilen bir ibadet olmadığını, insanın düşünce ve davranışlarını kuşatan sürekli bir bilinç hâli olduğunu göstermektedir. Kur'an'da Allah-kul ilişkisi tek yönlü bir iletişim olarak sunulmamaktadır. Allah'ın insanı yaratması, ona akıl ve idrak yeteneği vermesi, peygamberler ve ilahî kitaplar aracılığıyla yol göstermesi, insanın Allah'a yönelişinin temelini oluşturmaktadır. Kulun iman, dua, ibadet, şükür ve zikir yoluyla Allah'a yönelmesi ise söz konusu ilişkinin insan tarafından gerçekleştirilen boyutunu meydana getirmektedir. Allah'ı unutmak veya O'nu anmaktan yüz çevirmek, insanın kulluk bilincinin zayıflaması ve hayatın manevi anlamından uzaklaşmasıyla ilişkilendirilmektedir. Sonuç olarak Kur'an'da zikir, Allah-kul ilişkisinin kurulmasını ve devamlılığını sağlayan, iman ile davranış arasında bağ kuran ve insanın manevi hayatını bütünleştiren kapsamlı bir kulluk ve iletişim biçimidir.
Anahtar Kelimeler: Kur'an, Zikir, Allah-Kul İlişkisi, İman, Kulluk, Dua, Kalp.

ZIKR IN THE QUR'AN IN THE CONTEXT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ALLAH AND HIS SERVANTS

ABSTRACT

In the Holy Qur'an, the relationship between Allah and humankind is addressed in its various dimensions, such as creation, faith, servitude, supplication, worship, divine guidance, mercy and forgiveness. Zikr, which plays a significant role in establishing and maintaining this relationship, is not merely the verbal mention of Allah's name; rather, it entails keeping the awareness of Allah alive in one's mind and heart, reflecting on His existence and power, heeding His commands and prohibitions, and reflecting this awareness in one's behaviour. In the Qur'an, zikr stands out not only as a form of worship signifying a person's turning towards Allah, but also as a fundamental language of communication that ensures the continuity of the relationship between Allah and His servant. A correct understanding of the meaning and function of zikr necessitates that the concept be evaluated not merely within the framework of verbal repetitions, but in conjunction with heartfelt devotion, reflection, contemplation, worship and moral conduct. Zikr comprises complementary dimensions: language, the heart and the body. Zikr performed through speech encompasses remembering Allah by His names and attributes, praising Him, glorifying Him, making supplication and reciting the Qur'an. Zikr through the heart, on the other hand, involves reflecting on the evidence of Allah's existence and Oneness, striving to comprehend His divine names and attributes, and evaluating one's own existence and the universe in terms of the meaning of creation. Zikr practised through the body is manifested in a person's guidance of their organs and behaviour in accordance with the consciousness of servitude to God, their fulfilment of divine commands, and their avoidance of prohibitions. The unity between these dimensions demonstrates that zikr is not merely a form of worship performed at specific times, but rather a constant state of consciousness that encompasses a person's thoughts and behaviour. In the Qur'an, the relationship between Allah and His servants is not presented as a one-way communication. Allah's creation of humankind, His bestowal of reason and the capacity for understanding, and His guidance through the prophets and divine scriptures form the foundation of humankind's turning towards Allah. The servant's turning towards Allah through faith, prayer, worship, gratitude and remembrance, in turn, constitutes the human dimension of this relationship. Forgetting Allah or turning away from remembering Him is associated with a weakening of the human being's sense of servitude and a drifting away from the spiritual meaning of life. Consequently, in the Qur'an, remembrance (zikr) is a comprehensive form of servitude and communication that ensures the establishment and continuity of the relationship between Allah and the servant, forges a link between faith and behaviour, and unifies the human being's spiritual life.

Keywords: Qur'an, Dhikr, God–Human Relationship, Faith, Servitude, Supplication, Heart.

GİRİŞ

İnsan, zikir aracılığıyla Allah'a yönelir; Allah'ın varlığını, birliğini, kudretini ve kendisine yönelik ilahî hitabı zihninde ve kalbinde canlı tutar. Kur'an'da dua ile Allah'ın duasına karşılık vermesi arasındaki ilişki açık biçimde ortaya konulur. Nitekim Bakara sûresinde, "*Kullarım sana beni sorduklarında de ki: Ben çok yakınım; bana dua ettiğinde, dua edenin isteğine karşılık veririm*" buyrulur (el-Bakara 2/186). Benzer biçimde, "*Bana dua edin, duanıza cevap vereyim*" ifadesi de Allah'ın kullarıyla kurduğu ilişkinin dua ve yöneliş boyutunu vurgular (el-Mü'min 40/60). Bu bağlamda zikir, insanın Allah'a yönelişini ifade eden bir kulluk davranışı ve ilahî hitaba karşı verilen bilinçli bir karşılık olarak değerlendirilebilir.

Allah'ı zikretmek de yalnızca O'nun adını söylemekle sınırlı değildir; Allah'a ilişkin bilginin

kalpte yerleşmesi, ilahî emir ve yasakların hatırda tutulması ve bu bilincin davranışlara yön vermesi anlamlarını da içerir. Fahreddin er-Râzî, zikrin gerçekleşme biçimlerini dil, kalp ve beden üzerinden ele alır. Ona göre, dil ile zikir; Allah'ı güzel isimleriyle anmak, O'na hamdetmek, tesbih ve tekbirde bulunmak, Kur'an okumak ve dua etmek gibi sözlü davranışları kapsar. Kalp ile zikir, Allah'ın varlığına ve birliğine delalet eden işaretler üzerinde düşünmek, ilahî isim ve sıfatları kavramaya çalışmak ve Allah'ın nimetlerini hatırlamak şeklinde gerçekleşir. Bedenle zikir ise kişinin organlarını ve fiillerini kulluk bilincine uygun biçimde yönlendirmesi, emirleri yerine getirmesi ve yasaklardan uzak durmasıyla ortaya çıkar (Razi, 1989:4/424) Bu tasnif, zikrin söz, düşünce ve davranışı bir araya getiren kapsamlı niteliğini göstermektedir.

Kur'an'da Allah'ı sabah akşam anmaya yönelik buyruklar, zikrin devamlılığına işaret eder. Bununla birlikte sözlü anmanın, içten gelen bir yöneliş ve Allah'a karşı duyulan saygıyla birlikte gerçekleşmesi beklenir. Zikrin hedefi yalnızca belirli ifadelerin tekrarlanması değil, kalbin Allah bilinciyle uyanık tutulmasıdır. Bu bilinç, insanın hem ibadetlerinde hem de gündelik hayatında tutarlı bir kulluk anlayışı geliştirmesine katkı sağlar.

Zikrin ahlaki davranış üzerindeki etkisi, kişinin hata ve günah karşısındaki tutumunda belirginleşir. Kur'an, bir kötülük yaptıklarında veya kendilerine haksızlık ettiklerinde Allah'ı hatırlayıp günahlarının bağışlanmasını isteyen kimseleri över (Âl-i İmrân 3/135). Buradaki hatırlama, Allah'ın kudretini, insanın sorumluluğunu ve davranışların karşılıksız kalmayacağını yeniden idrak etmeyi içerir. Bu idrak, kişinin yanlış davranışını sürdürmek yerine pişmanlık duymasına, tövbeye yönelmesine ve davranışını düzeltmeye çalışmasına zemin hazırlar (Pak, 1999:11).

Allah bilincinin sürekliliği, dünyevî meşguliyetlerin kulluk sorumluluğunu unutturmasına engel olur. Kur'an, ticaretin ve alışverişin Allah'ı anmaktan, namazdan ve zekâttan alıkoymadığı kimseleri örnek gösterir (en-Nûr 24/37). Bu yaklaşım, zikir ile toplumsal ve ekonomik hayatın birbirine karşıt olmadığını; asıl meselenin gündelik uğraşlar içinde ilahî sorumluluğun korunması olduğunu ortaya koyar.

Zikir, tabiatın ve evrenin yaratılışı üzerinde düşünme biçiminde de gerçekleşebilir. Âl-i İmrân sûresinde akıl sahiplerinin ayakta, otururken ve yanları üzerine yatarken Allah'ı andıkları, göklerin ve yerin yaratılışı üzerinde tefekkür ettikleri bildirilir (Âl-i İmrân 3/190-191). Böylece tefekkür, yalnızca zihinsel bir faaliyet olmaktan çıkarak insanı yaratılışın anlamı ve Yaratıcı'nın kudreti üzerine düşünmeye yönelten bir zikir biçimi hâline gelir.

Kur'an, Allah'ı anmayı kalbin huzur ve sükûnet bulmasıyla da ilişkilendirir: "*Bilesiniz ki kalpler ancak Allah'ı anmakla huzur bulur*" (er-Ra'd 13/28). Bu ifade, zikrin insanın iç dünyasında meydana getirebileceği manevi etkileri vurgular. Bununla birlikte zikir, yalnızca rahatlama sağlayan bir uygulama olarak görülmemeli; iman, sorumluluk, ibadet ve ahlaki davranışlarla bütünleşen bir kulluk bilinci olarak değerlendirilmelidir.

Zikrin yönü yalnızca kuldan Allah'a doğru değildir. Kur'an'da, "*Öyleyse beni anın ki ben de sizi anayım; bana şükredin, nankörlük etmeyin*" buyrulur (el-Bakara 2/152). Kulun Allah'ı anması; itaat, dua, hamd, şükür ve kulluk sorumluluklarını yerine getirme gibi davranışlarla ortaya çıkarken Allah'ın kulunu anması rahmet, mağfiret, hidayet ve ilahî lütufla ilişkilendirilir. Bu karşılıklılık, insanın zikriyle Allah'ın zikrinin aynı mahiyette olduğu anlamına gelmez; iki yönlü ilişki, kulun yönelişine Allah'ın ilahî lütfuyla karşılık vermesi çerçevesinde anlaşılmalıdır (Yazır, 1992: 2/430).

Allah ile insan arasındaki iletişim, peygamberler ve ilahî kitaplar aracılığıyla açıklığa kavuşur. Kur'an, Allah'tan insana yönelen ilahî mesajı bildiren ve insanın bu mesaj doğrultusunda Allah'a yönelmesine rehberlik eden temel kaynaktır. İslam geleneğinde "Allah'ın ipi"

anlamında kullanılan "hablullah" (Ali İmran 3/103) ifadesi de Kur'an'ın insanları ilahî hidayete bağlayan rehberlik işlevini anlatır (Müslim, '*Sahabe*', 37; Tirmizi, '*Menâkıb*', 31). Bu çerçevede Kur'an, Allah ile kul arasındaki ilişkinin mahiyetini, sınırlarını ve kulluk sorumluluklarını ortaya koyan bir rehber olarak değerlendirilebilir.

4.1. Allah-Kul İlişkisi Açısından İman Etmek

Kur'an'da Allah'a iman eden kişinin kalbine hidayet verileceği bildirilir (et-Teğâbün 64/11). Bu anlatım, iman ile ilahî rehberlik arasındaki ilişkiye dikkat çeker. İman, insanın Allah'ın varlığını ve birliğini kabul etmesinin yanında, O'nun bildirdiği hakikatleri benimsemesini ve hayatını bu doğrultuda şekillendirmesini de kapsar.

İman, yalnızca zihinsel düzeyde gerçekleşen bir tasdik olarak ele alınamaz. Allah'ı tanımak ve O'nun büyüklüğünü kabul etmek, kişinin tutumlarına ve tercihlerine yansıdığı ölçüde bütünlük kazanır. Bu bakımdan iman, bilgi ve kabulün yanı sıra sevgi, saygı, güven ve sorumluluk boyutlarını da içeren bir yaşayış biçimidir. İman ile amel arasındaki bağ, Allah-kul ilişkisinin teorik bir inançtan ibaret olmadığını; insanın davranışlarına yön veren canlı bir ilişki olduğunu gösterir.

Kur'an, müminlerin kalplerinde imanın sevimli kılınmasını, inkârın ve isyanın ise çirkin gösterilmesini ilahî bir lütuf olarak sunar (el-Hucurât 49/7). Bu anlatım, imanî yönelişin yalnızca iradi kararlarla değil, insanın duygusal ve ahlaki dünyasındaki dönüşümle de ilişkili olduğunu ortaya koyar. İman, kişinin neyi değerli gördüğünü ve hangi davranışları tercih ettiğini etkileyerek Allah ile kurduğu ilişkinin sürekliliğine katkıda bulunur.

4.2. Allah-Kul İlişkisi Açısından Sevmek

Sevgi, insanın Allah ile ilişkisini şekillendiren temel duygulardan biridir. Kur'an'da Allah'ın müminlere yönelik sevgisi, ilahî yakınlık ve lütfun bir göstergesi olarak ele alınır. Allah'a duyulan sevgi ise O'nu tanımak, nimetlerini fark etmek, emirlerine bağlı kalmak ve rızasını gözetmekle somutlaşır. Böylece sevgi, yalnızca duygusal bir bağlılık olarak kalmaz; kişinin ibadetlerini, ahlaki tercihlerini ve zorluklar karşısındaki tutumunu etkileyen bir yönelişe dönüşür.

Kur'an'da müminlerin Allah anıldığında kalplerinin ürpermesi, karşılaştıkları sıkıntılara sabretmeleri, namazı gereği gibi kılmaları ve kendilerine verilen nimetlerden başkaları için harcamaları övülür (el-Enfâl 8/2-3). Bu nitelikler, Allah sevgisinin iman ve ahlakla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösterir. Allah'ın müminlere hidayet vermesi, imanı kalplerinde güçlendirmesi ve onları desteklemesi, kulun Allah'a yönelişinin ilahî lütufla karşılık bulduğunu ortaya koyar.

4.3. Zikrin Müminlere Emredilmesi

İnsan, kendi varlığı ve çevresindeki evren üzerinde düşündüğünde yaratılışın anlamına, varlıkların düzenine ve bu düzenin kaynağına ilişkin sorularla karşılaşır. Bu sorgulama, insanı Allah'ın kudretini tanımaya ve kendisine verilen nimetleri fark etmeye yöneltebilir. Kur'an'da Allah'ı çokça anmaya yönelik emirler, bu farkındalığın geçici bir düşünce olarak kalmamasını, insanın hayatında süreklilik kazanmasını amaçlar.

Evrenin düzeni, canlıların varlığı ve insanın sahip olduğu imkânlar, yaratılış üzerine tefekkür için zemin oluşturur. Bu tefekkürün Allah'a yönelişle birleşmesi, zikrin düşünsel boyutunu meydana getirir. Zikir, böylece insanın yalnızca belirli sözleri tekrarlaması değil, varlık ve hayat hakkındaki anlayışını ilahî bilinç doğrultusunda yeniden düzenlemesi anlamına gelir.

İbadetlerin temelinde, insanın kendisine verilen nimetleri fark etmesi ve bu nimetler karşısında şükür sorumluluğu hissetmesi de bulunmaktadır. Şükür, insanın sahip olduğu imkânları kendiliğinden ve sınırsız bir hak olarak görmemesini; bunların değerini kavrayarak uygun biçimde kullanmasını sağlar. Zikir ve şükür arasındaki bu yakın ilişki, Allah'ın nimetlerini

hatırda tutmanın kulluk bilincini beslediğini göstermektedir.

4.4. Allah-Kul İlişkisi Açısından Dua

İnsan ile Allah arasındaki iletişimin temel biçimlerinden biri duadır. Dua, kulun ihtiyaçlarını, beklentilerini, pişmanlığını ve şükrünü Allah'a yönelterek ifade etmesidir. İslam anlayışında dua için zorunlu bir aracıya ihtiyaç bulunmaması, insanın Allah'a doğrudan yönelişini vurgular (Sarıkaya, 2014:1). Bununla birlikte Allah ile insan arasındaki ilişki, iki varlığın eşit düzeyde karşılıklı konuşması şeklinde anlaşılmamalıdır; yaratıcı ile yaratılan arasındaki mahiyet farkı bu ilişkinin temel çerçevesini belirler.

Kur'an, insanı yalnızca vahyedilmiş ayetler üzerinde değil, kâinattaki işaretler üzerinde de düşünmeye çağırır. Göklerde ve yerde bulunan varlıklar, yaratılışın düzeni ve insanın tecrübe ettiği olaylar, üzerinde tefekkür edilecek ayetler olarak sunulur (Gümrükçüoğlu, 2013: 3/850). Kur'an ayetleri ilahî mesajı sözlü biçimde bildirirken kâinattaki işaretler, insanı yaratılışın anlamını araştırmaya yöneltir. Her iki alan da insanın düşünmesini ve hakikate yönelmesini teşvik eder.

Kur'an'da göklerde ve yerde bulunanların incelenmesi istenir; ancak işaret ve uyarıların inkârda ısrar eden kimselere fayda sağlamayabileceği de bildirilir (Yûnus 10/101). Bu ifade, ilahî işaretlerin anlaşılmasında yalnızca dış dünyaya bakmanın yeterli olmadığını, kişinin zihinsel ve ahlaki açıklığının da önem taşıdığını gösterir. Dolayısıyla Allah ile iletişim, vahyi dinleme, kâinat üzerinde düşünme ve bu düşünceyi dua ve kullukla sürdürme süreçlerini kapsar.

4.5. Allah-Kul İlişkisi Açısından İbret Almak

Kur'an, göklerin ve yerin yaratılışını, gece ile gündüzün birbirini izlemesini akıl sahipleri için ibret vesilesi olarak gösterir (Âl-i İmrân 3/190). Bu işaretler üzerinde düşünmek, insanın evreni yalnızca fiziksel varlıkların toplamı olarak görmemesine; varoluş, düzen ve sorumluluk üzerine düşünmesine imkân verir. Ayette tefekkürün Allah'ı anmayla birlikte zikredilmesi, düşünsel faaliyetin manevi yönelişle bütünleştiğini ortaya koyar.

Kur'an, insanın yeniden dirilişi uzak görmesini eleştirirken ilk yaratılışı hatırlatır (Meryem 19/66-67). İnsan, daha önce mevcut değilken yaratıldığını düşündüğünde yeniden yaratılmanın imkânını kavrayabilir. Böylece yaratılış üzerinde düşünmek, ölüm ve ahiret hakkında ibret almanın yollarından biri hâline gelir. Kur'an kıssaları ve ayetleri de insanın geçmişteki olaylardan sonuç çıkarmasını, davranışlarını değerlendirmesini ve sorumluluğunu hatırlamasını amaçlar (En'am 6/126).

İbret alma yeteneği, yalnızca bilgi edinmeye değil, edinilen bilgiden ahlaki sonuçlar çıkarmaya bağlıdır. Kur'an'da kalpleri katılaşan veya manevi hastalık taşıyan kimselerin ilahî işaretler karşısında duyarsızlaşabileceği belirtilir. Buna karşılık aklını kullanan, ön yargılarını sorgulayan ve Allah'a yönelen kişi, gözlemlediği olayları kendisini geliştirecek bir ders olarak değerlendirebilir. Bu yönüyle ibret, Allah-kul ilişkisinde bilgi ile davranış arasındaki bağlantıyı güçlendirir.

4.6. Allah-Kul İlişkisi Açısından İtaat Etmek

Kur'an, Hz. Peygamber'in insanlara Allah'ın ayetlerini okuma, onları arındırma, kitap ve hikmeti öğretme görevini vurgular (el-Bakara 2/151). Bu görev, insanın bilgi edinmesinin yanı sıra ahlaki yönden gelişmesini ve öğrendiklerini davranışlarına yansıtmasını da hedefler. İtaat, Allah'ın bildirdiği ilkeleri kabul etmek ve bunlara uygun bir hayat sürdürmek anlamına gelir.

Bakara süresindeki "Beni anın ki ben de sizi anayım" (el-Bakara 2/152) buyruğu, Taberî tarafından Allah'a itaat ederek O'nu anma ve ilahî rahmet ile mağfirete erişme bağlamında yorumlanır (Taberi, 1996: 1/371-372). Fahreddin er-Râzî de ayetin anlam alanında ibadet ve itaat yoluyla Allah'ı anmaya, buna karşılık ilahî rahmetin tecellisine dikkat çeker (Razi, 1989: 9/135-138). Bu yorumlar, zikrin yalnızca dilde gerçekleşen bir anma olmadığını; itaati ve kulluk

sorumluluklarını da kapsadığını göstermektedir.

4.7. Allah-Kul İlişkisi Açısından İbadet Etmek

İbadet, kulun Allah'a bağlılığını ifade etmesinin ve bu bağlılığı düzenli biçimde sürdürmesinin temel yollarından biridir. İbadetin Allah-kul ilişkisindeki işlevi, Allah'ı anma bilincini süreklileştirmesiyle yakından bağlantılıdır. Namazda Kur'an okunması, Allah'ın yüceliğinin ifade edilmesi, hamd ve tesbihte bulunulması, zikrin farklı boyutlarını bir araya getirir. Bu uygulamalar, kulun gündelik hayatında Allah'a yönelişini canlı tutmasına yardımcı olur. Bununla birlikte ibadetin etkisi, onun anlamını kavrama ve ortaya koyduğu ahlaki sorumlulukları hayata taşıma çabasıyla derinleşir.

Kur'an'da Allah'ın insanla beraber olduğu ve insana yakınlığına ilişkin ifadeler, Allah'ın ilmi ve gözetiminin kuşatıcılığı bağlamında anlaşılır (el-Hadîd 57/4; Kâf 50/16). Bu yakınlık, Allah'ın insanla aynı mekânı paylaşması anlamına gelmez; O'nun insanın durumunu bilmesini ve hiçbir şeyin ilahî bilgiden uzak kalmamasını ifade eder. Bu bilinç, ibadetin yalnızca belirli mekânlarla sınırlı olmadığı, insanın hayatının tamamında kulluk sorumluluğunu gözetmesi gerektiği düşüncesini destekler (Bayrakdar, 1987:10).

Kulun ibadet ve zikir aracılığıyla Allah'a yönelmesi, Kur'an'da ilahî lütufla karşılık bulan bir davranış olarak sunulur. "Beni anın ki ben de sizi anayım" (el-Bakara 2/152) ayeti, insanın kulluğu ile ilahî rahmet arasındaki ilişkiyi açıklar. Allah'ın dostluğu ve müminlere yönelik koruması da bu çerçevede ele alınır. İman, ibadet ve zikir, kişinin Allah'a yakınlık arayışını besleyen unsurlar olmakla birlikte, bu yakınlık iddiası ahlaki sorumluluklardan bağımsız değerlendirilmemelidir.

Kur'an, insanın sahip olduğu maddi ve manevi nimetlerin saymakla bitirilemeyeceğini bildirir (İbrâhîm 14/34; en-Nahl 16/18). İnsanın bedeni, aklı, duyguları, öğrenme kapasitesi ve toplumsal ilişkileri bu nimetlerin başlıcaları arasındadır. Nimetlerin farkında olmak, bunların kaynağını hatırlamak ve onları sorumlu biçimde kullanmak, zikir ve şükür arasındaki bağı güçlendirir.

4.8. Allah-Kul İlişkisi Açısından Kulluk Yapmak

Kur'an'da insanın yaratılış amacı kulluk kavramıyla açıklanır: *"Ben cinleri ve insanları ancak bana kulluk etsinler diye yarattım*" (ez-Zâriyât 51/56). Kulluk, yalnızca ritüel ibadetleri yerine getirmekten ibaret değildir; Allah'ı tanımayı, O'nun emirlerine bağlı kalmayı ve insanın hayatını ilahî rehberlik doğrultusunda düzenlemesini de içerir. Bu nedenle kulluk, insanın yaratılışına ilişkin anlam arayışı ile günlük davranışları arasında bağ kurar. Böylece kulluk, insanın kendi varlığını ve sorumluluğunu Allah karşısında anlamlandırmasının temel çerçevesi hâline gelir.

Allah'ın yaratıcı olması bakımından bütün insanlar O'nun yaratmasıyla varlık kazanır. Allah-kul ilişkisi, yalnızca iman edenlerle sınırlı bir varoluş ilişkisi değildir; her insan ilahî yaratmanın kapsamındadır. Bununla birlikte kişinin iman, itaat ve ahlaki davranışları, Allah'ın bildirdiği rehberliğe verdiği karşılığın niteliğini belirler. İnsanların bu dünyadaki tutumları, dinî ve ahlaki sorumlulukları bakımından farklılık gösterir.

Tevhidi benimseyen kişinin imanının gereğini yerine getirmesi, Allah'a ve Resûlü'ne itaat etmesi ve yasaklardan kaçınması beklenir. İmanın olgunlaşması, yalnızca inanç beyanıyla değil, davranışlarda ortaya çıkan tutarlılıkla da ilgilidir. Bu çerçevede zikir, kişinin Allah'ın emirlerini hatırda tutmasına ve kulluğunu gündelik hayatına yansıtmasına katkıda bulunur.

Kur'an'da ilahî rahmetin genişliği vurgulanmakla birlikte, iman ve sorumluluk arasındaki bağ da korunur. İnsan, kendisine ulaşan ilahî çağrı karşısında bir tutum geliştirir ve bu tutumun sonuçlarıyla karşılaşır. Allah'ın kullarıyla ilişkisinin ahirette de devam edeceği, insanların yaptıklarına göre karşılık göreceği ve ilahî affın da mümkün olduğu bildirilir. Böylece kulluk,

dünya hayatındaki davranışlarla ahiret sorumluluğunu birbirine bağlayan bir anlayış içinde ele alınır (Aköz, 2000: 20-29).

4.9. Allah-Kul İlişkisi Açısından Zikretmenin Psikolojik Faydaları

Zikir, dinî bir ibadet olmasının yanı sıra insanın iç dünyasını, duygu durumunu ve yaşamı anlamlandırma biçimini etkileyebilen bir uygulamadır. Allah'ı anmak, inanan kişi açısından yaratıcıyla kurulan ilişkinin bilinçli biçimde sürdürülmesini ifade eder. Bu ilişkinin psikolojik yansımaları, kişinin Allah'a duyduğu güven, hayatındaki olayları değerlendirme biçimi ve manevi sorumluluklarına yaklaşımıyla bağlantılıdır. Bununla birlikte zikrin psikolojik etkileri ele alınırken dinî anlamlandırma ile klinik tedavinin birbirinden farklı alanlar olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

İbadet ve zikir, kulun Allah'a yakınlık hissetmesine, kendisini ilahî bilgi ve gözetim altında görmesine ve bağışlanma umudunu korumasına yardımcı olabilir. Kur'an'da kalplerin Allah'ı anmakla huzur bulduğunun bildirilmesi (er-Ra'd 13/28), zikrin manevi sükûnetle ilişkisini ortaya koyar. Bu ifade, bütün psikolojik sorunların yalnızca zikirle çözüleceği şeklinde yorumlanmamalı; zikrin inanan bireyin manevi kaynakları arasında yer aldığı dikkate alınmalıdır.

İnsanın iç huzuru, duygularını düzenleyebilmesi, hayatına anlam verebilmesi ve karşılaştığı zorluklarla baş edebilmesiyle yakından ilişkilidir. Kur'an merkezli zikir, inanan kişinin dikkatini Allah'a, sorumluluklarına ve sahip olduğu nimetlere yöneltebilir. Bu yöneliş, kaygı ve sıkıntı karşısında umut ve dayanıklılık duygularını destekleyebilir. Ancak bireylerin deneyimleri farklı olduğundan, zikrin etkileri her insan için aynı biçimde ortaya çıkmayabilir.

Kur'an, Allah'ı çokça anan erkek ve kadınlar için bağışlanma ve büyük bir mükâfat hazırlandığını bildirir (el-Ahzâb 33/35). Ayet, zikri iman, doğruluk, sabır, tevazu, sadaka ve iffeti koruma gibi niteliklerle birlikte anarak onu daha geniş bir ahlaki çerçeveye yerleştirir. Böylece zikir, tek başına ve diğer sorumluluklardan kopuk bir uygulama değil; müminin kişiliğini ve davranışlarını biçimlendiren unsurlardan biri olarak değerlendirilir.

Zikrin, kişinin iç dünyasındaki katılık, umutsuzluk ve manevi duyarsızlıkla mücadele etmesine katkı sağlayabileceği kabul edilmektedir. Allah'ı hatırlamak, insanın kendisini yalnızca gündelik sorunlar ve geçici arzular üzerinden tanımlamasını engelleyerek daha geniş bir anlam ufku sunabilir. Bu çerçevede zikir; bilinç, dikkat, öz denetim ve takva ile ilişkilidir. Zikrin bu işlevi, kişinin davranışlarının sonuçlarını düşünmesi ve ahlaki sorumluluğunu korumasıyla belirginleşir.

Zikir, inanan kişinin dikkatini Allah'a yönelterek uyanıklık ve bilinç hâlini destekleyen bir kulluk biçimi olarak görülebilir. Bu bilinç, insanın arzularını denetlemesine, davranışlarının sonuçlarını değerlendirmesine ve takva anlayışını geliştirmesine yardımcı olur. Zikrin değeri, insanın yalnızca belirli ifadeleri tekrarlamasında değil, hatırladığı hakikatleri kararlarına ve davranışlarına yansıtmasında ortaya çıkar.

4.9.1. Kalpleri Huzura Erdirir

Hızlı toplumsal değişim, belirsizlikler ve gündelik yaşamın baskıları, insanların manevi anlam kaynaklarına duyduğu ihtiyacı artırabilir. İnanan kişi açısından Allah'a yönelmek, dua etmek ve zikirle meşgul olmak, yaşanan olayları daha geniş bir inanç çerçevesinde değerlendirmeye yardımcı olabilir. Kur'an'da Allah'ın dilediği kimseyi doğru yola yönelttiği bildirilirken, O'na yönelenlerin hidayete erişmesi de vurgulanır. Bu bakımdan zikir, yalnızca huzur arayışının bir aracı değil, Allah'a yönelişi ve hidayet talebini ifade eden bir kulluk biçimidir (Yazır, 1992: 4/564).

4.9.2. Zikirle Kulun Kendisini Güvende Hissetmesi

İslamî düşüncede zikir, insanın şeytanın vesvesesine, nefsin yönlendirmelerine ve yanlış

davranışları meşrulaştıran eğilimlere karşı bilinçli kalmasına yardımcı olan manevi bir dayanak olarak değerlendirilir. Dil, kalp, düşünce ve davranış düzeyinde gerçekleşen zikir, kişinin Allah'a karşı sorumluluğunu hatırlamasını sağlar. Bu farkındalık, insanın kararlarını daha dikkatli biçimde gözden geçirmesine ve inanç ilkeleriyle çelişen tercihlerden uzak durmasına katkı sunabilir.

Allah'ı anmak, müminin kendisini ilahî bilgi ve gözetim altında hissetmesini, rahmet ve bağışlanma umudunu korumasını sağlayabilir. Hz. Peygamber'e nispet edilen "Allah'ı zikredenle zikretmeyen, diri ile ölü gibidirler" (Buhârî, *Deavât,* 67) hadisi, zikrin manevi hayat açısından önemini vurgulamak üzere aktarılır.

4.9.3. Zikirle İhya Olmak

Kur'an'da iman, doğruluk, sabır, itaat, tevazu, sadaka, oruç ve iffeti koruma gibi nitelikler, Allah'ı çokça anmakla birlikte zikredilir. Bu nitelikleri taşıyan erkek ve kadınlar için mağfiret ve büyük mükâfat vaat edildiği bildirilir (el-Ahzâb 33/35). Ayetin bütüncül yapısı, zikrin ahlaki erdemlerden ayrı düşünülmemesi gerektiğini gösterir. Zikir, insanın manevi hayatını canlı tutarken diğer kulluk sorumluluklarıyla birlikte anlam kazanır.

Allah'ı sıkça anmak, insanın inanç ve sorumluluklarını sürekli hatırda tutmasına yardımcı olur. Allah'ı unutmamak, yalnızca sözlü bir hatırlama değil, kişinin yaşamını ilahî rehberlik doğrultusunda sürdürme çabasıdır. Bu nedenle zikir ile bağışlanma ve mükâfat arasındaki ilişki, yalnızca niceliksel tekrar üzerinden değil, zikrin bireyin inancı ve davranışları üzerindeki etkisi bakımından da ele alınmalıdır.

4.9.4. Zikirle İlahi Yardıma Ulaşma

Kur'an, arınma, Allah'ı anma ve namazı kurtuluşa ilişkin temel davranışlar arasında sayar. A'lâ sûresinde, arınan, Rabbinin adını anan ve namaz kılan kimsenin kurtuluşa erdiği bildirilir (el-A'lâ 87/14-15). Bu ifadelerde yer alan arınma, zikir ve namaz kavramları, insanın iç dünyasıyla davranışlarının birbirini tamamlaması gerektiğine işaret eder. Kurtuluş, yalnızca bir sözün tekrarlanmasına değil, iman ve ibadetin bütünlüğüne bağlanır (Yazır, 1992: 8/401).

Arınma kavramı, bağlama göre manevi temizliği, davranışların düzeltilmesini ve malın arındırılmasını da kapsayabilecek geniş bir anlam alanına sahiptir. Namaz ve zikir ise kulun Allah'a yönelişini görünür hâle getirir. Bu kavramların birlikte kullanılması, kalp ve beden temizliğiyle sözlü, bedensel ve mali ibadetlerin aynı kulluk anlayışının farklı boyutları olduğunu düşündürür.

Kur'an'da cuma namazından sonra yeryüzüne dağılıp Allah'ın lütfundan rızık ararken O'nu çokça anmak tavsiye edilir (el-Cum'a 62/10). Benzer şekilde, savaşta düşmanla karşılaşıldığında sebat etmek ve Allah'ı çokça anmak emredilir (el-Enfâl 8/45). Bu örnekler, zikrin yalnızca sakin ve özel ibadet ortamlarında değil, yoğun sorumluluk ve mücadele gerektiren durumlarda da önem taşıdığını gösterir. Zikir, müminin moralini ve sorumluluk bilincini besleyen bir yöneliş olarak ele alınabilir.

4.9.5. Kulun Zikirle Sekînete Ermesi

Zikir, inanan kişinin hayatın geçiciliğini, sorumluluklarını ve Allah'a yönelişini hatırlamasına yardımcı olarak içsel bir sükûnet duygusunu destekleyebilir. Bu sükûnet, zorlukların ortadan kalkacağı anlamına gelmez; kişinin zorluklarla karşılaşırken anlam, sabır ve umut kaynaklarını korumasını ifade eder. Kur'an'da Allah'ı unutmanın insanın manevi hayatında olumsuz sonuçlara yol açabileceği bildirilir (el-Haşr 59/19). Ayet, Allah bilincinin kaybı ile kişinin kendi sorumluluğunu ve nihai yönelişini unutması arasındaki ilişkiye dikkat çeker.

Kur'an okumak, zikrin önemli biçimlerinden biri olarak kabul edilir. Kur'an, kendisini müminler için şifa ve rahmet olarak niteler (el-İsrâ 17/82). Bu şifa ifadesi, öncelikle vahyin manevi ve ahlaki rehberliğine işaret eder. Kur'an'ın okunması ve anlamı üzerinde düşünülmesi,

kişinin yanlış inançlarını sorgulamasına, davranışlarını değerlendirmesine ve manevi bakımdan güçlenmesine katkı sağlayabilir.

Zikre devam eden kişi, Allah'a yakınlık ve ilahî gözetim bilincini canlı tutabilir. Bu bilinç, özellikle güçlükler ve belirsizlikler karşısında güven, dinginlik ve umut duygularını destekleyebilir. Kur'an'da iman edenlerin kalplerinin Allah'ı anmakla huzur bulduğunun belirtilmesi, bu manevi boyutun temel dayanaklarından biridir. Zikrin bireysel tecrübedeki karşılığı farklılık gösterebilse de Kur'an'ın ortaya koyduğu çerçevede zikir, kulun Allah'a yönelişini sürekli kılan bir kulluk biçimidir.

4.9.6. Allah'ın Kulu Mükâfatlandırması

Kur'an'da insanın kulluk sorumluluğuna dikkat çekilir; insanlara doğru yolu göstermek amacıyla müjdeleyici ve uyarıcı peygamberlerin gönderildiği bildirilir (Nisa 4/165). Peygamberlerin görevi, ilahî mesajı tebliğ etmek, insanları arındırmak ve onlara kitap ile hikmeti öğretmektir. Bu rehberlik, insanın doğru davranışları tanımasını ve sorumluluk bilinci geliştirmesini amaçlar.

Kur'an, iyi davranışlarda bulunan kimselerin emeklerinin karşılıksız bırakılmayacağını bildirir (Kehf 18/30). Zikir de kulluğun temel ifadelerinden biri olarak, iman ve salih amellerle birlikte değerlendirilir (Bakara 2/152). Allah'ı anan ve bu bilinci davranışlarına yansıtan kişinin ilahî rahmet ve mağfireti umması, Kur'an'ın müjde ve sorumluluk anlayışıyla uyumludur. Ancak bu vaatler aktarılırken ilgili ayetlerin bağlamı ve kulluk bütünlüğü korunmalıdır (Yazır, 1992: 1/429).

4.9.7. Allah'ın Zikriyle Kalplerin Titremesi

Kur'an'da Allah anıldığında müminlerin kalplerinin ürpermesi ve ayetler okunduğunda imanlarının güçlenmesi, inancın insanın duygu dünyasında meydana getirdiği etkiye işaret eder (el-Enfâl 8/2). Bu ürperti, yalnızca korku duygusu olarak değil, Allah'ın büyüklüğünü idrak etme, sorumluluğu fark etme ve O'na karşı saygı duyma biçiminde de anlaşılabilir. Zikir, kişinin yanlış davranışlarını fark etmesine ve Allah'a yönelmesine vesile olabilir.

Kur'an, kötülük yaptıklarında veya kendilerine haksızlık ettiklerinde Allah'ı hatırlayıp bağışlanma dileyen kimseleri över (Âl-i İmrân 3/135). Bu anlatımda zikir, tövbe ve istiğfarın önünü açan bir farkındalık işlevi görür. Kişinin Allah'ı hatırlaması, işlediği davranışı değerlendirmesine, pişmanlık duymasına ve hatasını düzeltmeye yönelmesine yardımcı olur. Böylece zikir, manevi duyarlılığın yanı sıra ahlaki öz denetimi de güçlendiren bir unsur olarak öne çıkar.

4.9.8. Allah'ın Kulu Uyarması

Kur'an'da Allah'ı anmaktan yüz çeviren kimsenin sıkıntılı bir hayatla karşılaşacağı bildirilir (Tâhâ 20/124). Bu uyarı, insanın Allah'la ilişkisini ve yaratılış amacını göz ardı etmesinin manevi sonuçlarına dikkat çeker. Namaz başta olmak üzere birçok ibadet, Allah'ı anma unsurlarını içerir: namazda tekbir, Kur'an tilaveti, tesbih ve hamd gibi söz ve davranışlar bir araya gelir. Bununla birlikte ibadetlerin zikre katkısı, anlamlarının kavranması ve ahlaki sonuçlarının gözetilmesiyle derinleşir.

Allah'ı anmaktan uzaklaşmak, insanın hayatını yalnızca geçici arzular ve dünyevi amaçlar etrafında şekillendirmesine yol açabilir. Kur'an'daki uyarı (Rad 13/28), manevi yönelişin ihmal edilmesinin insanın anlam dünyasında ve sorumluluk bilincinde oluşturabileceği eksilmeye işaret eder. Bu nedenle zikir, kulun Allah'a bağlılığını hatırlamasını ve hayatına yön veren değerleri korumasını sağlayan bir bilinç biçimidir.

4.9.9. Kulun Zikirden Gaflete Düşmesi

Allah bilincinin insanın düşünce ve davranışlarında yerleşik bir unsur hâline gelmemesi, gaflete düşme ihtimalini artırır. Kur'an, insanın zayıf yaratıldığını bildirir (en-Nisâ 4/28). Bu zayıflık,

insanın arzu ve eğilimleri karşısında her zaman aynı direnç ve kararlılığı gösterememesi bakımından da değerlendirilebilir. İnsanın yaratılıştan gelen sınırlılıkları ve yaşam içinde edindiği alışkanlıklar, davranışlarını etkileyebilir; bu nedenle kişinin kendisini sürekli gözden geçirmesi ve sorumluluk bilincini canlı tutması önem taşır.

İnsanın arzuları ve ihtiyaçları, kontrol edilmediğinde onu geçici hazlara yöneltebilir ve manevi sorumluluklarını geri plana itebilir. Bu durum, her arzunun olumsuz olduğu anlamına gelmez; önemli olan, isteklerin ölçülü biçimde yönetilmesi ve dinî-ahlaki ilkelerle dengelenmesidir. Zikir, Allah'a karşı sorumluluğu hatırlatarak kişinin kendisini denetlemesine, yanlış davranışlardan uzaklaşmasına ve gerektiğinde tövbe ederek yeniden yöneliş geliştirmesine yardımcı olabilir.

Hz. Peygamber'den nakledilen bir rivayette, duanın kabulüne güvenilmesi ve Allah'ın gaflet içindeki bir kalpten gelen duayı kabul etmeyeceğinin bilinmesi tavsiye edilir (Tirmizi, *''Deavât''*, 11). Bu rivayet, duanın yalnızca sözlü ifadelerden oluşmaması; dikkat, samimiyet ve kalbî yönelişle birlikte gerçekleşmesi gerektiğini vurgulamak amacıyla aktarılmaktadır.

SONUÇ

Allah-kul ilişkisi, Kur'an'ın ortaya koyduğu temel ilkeler çerçevesinde iman, sevgi, zikir, dua, tefekkür, ibadet, itaat ve kulluk gibi birbirini tamamlayan unsurlar üzerine kuruludur. Bu ilişki, insanın yalnızca Allah'ın varlığını ve birliğini kabul etmesiyle sınırlı olmayıp inandığı değerleri düşüncelerine, duygularına, davranışlarına ve günlük yaşamına yansıtmasını da gerektirmektedir. Zikir, bu ilişkinin sürekliliğini sağlayan temel kulluk davranışlarından biri olarak insanın Allah bilincini canlı tutmasına, yaratılışın anlamı üzerinde düşünmesine, nimetlerin farkına varmasına ve sorumluluklarını yerine getirmesine katkıda bulunmaktadır. Dua, kulun ihtiyaçlarını ve beklentilerini Allah'a arz etmesini sağlarken iman ve sevgi, Allah'a bağlılığın manevi temelini oluşturmakta; ibadet ve itaat ise bu bağlılığın davranışlara yansımasını sağlamaktadır. İbret ve tefekkür, insanın hem kendi varlığını hem de evrendeki ilahî düzeni anlamlandırmasına imkân verirken kulluk bilinci, bütün bu yönelişleri ortak bir amaç etrafında birleştirmektedir. Bu çerçevede zikir, yalnızca dil ile gerçekleştirilen bir anma faaliyeti değil; kalbin, zihnin ve bedenin Allah'ın emir ve yasakları doğrultusunda yönlendirilmesini içeren bütüncül bir bilinç hâlidir. Kur'an'da Allah'ı anmanın kalplere huzur verdiğinin bildirilmesi, zikrin insanın manevi dünyasındaki önemini ortaya koymakla birlikte, bu yönelişin ahlaki sorumluluklarla desteklenmesi gerektiğini de göstermektedir. Nitekim Allah'ı hatırlamak, kişinin hatalarından dönmesine, nefsini denetlemesine, sabır ve şükür bilincini geliştirmesine, davranışlarında ölçülü ve sorumlu hareket etmesine zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla Allah-kul ilişkisinin sağlıklı ve anlamlı bir zeminde sürdürülebilmesi, iman ile amelin, zikir ile ahlakın, dua ile teslimiyetin ve ibadet ile sorumluluğun bir bütün olarak değerlendirilmesine bağlıdır. Sonuç olarak Kur'an perspektifinde Allah-kul ilişkisi, insanın yaratılış amacını kavramasını, hayatını ilahî rehberlik doğrultusunda düzenlemesini ve dünya hayatındaki sorumluluklarını ahiret bilinciyle yerine getirmesini hedefleyen dinamik bir kulluk ilişkisidir. Bu ilişkinin merkezinde yer alan zikir ise insanın Allah'a yönelişini sürekli kılan, manevi hayatını canlı tutan ve inancını ahlaki davranışlarla bütünleştiren temel bir unsur niteliğindedir.

KAYNAKÇA

Aköz, H. (2000). *Kur'an'da Allah-Kul İlişkisi*. İstanbul: Seriyye Yayınları.
Bayrakdar, M. (1987). *İslam İbadet Fenomenolojisi*. Ankara: Akçağ Yayınları.
Buhârî, M. (1981). Sahîhu'l-Buhârî. İstanbul: Çağrı Yayınevi.
Gümrükçüoğlu, S. (2013). "Kur'an'da İletişimin Önemi ve Bunun Önündeki Engeller." *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi.* 2 (3).
Müslim, M. (1981). *Sahîhi Müslim.* İstanbul: Çağrı Yayınevi.
Pak, Z. (1999). *Kur'an'da Kulluk*. İstanbul: Kayıhan Yayınları.
Razi, F. (1989). *Tefsir'i Kebir Mefâtihu'l-Gayb.* Ankara: Akçağ Yayınları.
Sarıkaya, B. (2014). "İnsan Allah İletişimi ve Tevessül". *Gümüşhane Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi.* 3 (5).
Taberi, M. (1996). *Taberi Tefsiri.* Çvr. Hasan Karakaya-Kerim Aytekin. İstanbul: Hisar Yayınevi.
Tirmizî, M. (1981). Sünenü't-Tirmizî. İstanbul: Çağrı Yayınevi.
Yazır, H. (1992). *Hak Dini Kur'ân Dili.,* Trc. İsmail Karaçam-Emin ışık-N. Bolelli-A. Yücel. İstanbul: Azim Dağıtım Yay.

DOĞUM SÜRECİNDE SİMÜLASYONA DAYALI EĞİTİMİN ÖĞRENCİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ebe Aybike SERBES
Sivas Medicana Hastanesi, Merkez, Sivas, Türkiye,
ORCID: 0009-0005-4440-8141
Prof. Dr. Gülbahtiyar DEMİREL
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, 58140 Kampus, Sivas, Türkiye,
ORCID: 0000-0003-2258-7757

ÖZET
Önüne geçilebilir anne ölümlerinin azaltılmasında nitelikli obstetrik bakım kritik bir role sahiptir. Ancak geleneksel eğitim modellerinin obstetri öğretiminde yetersiz kalması, simülasyon temelli eğitimi zorunlu kılmaktadır. Simülasyon, öğrencilere gerçek hastaya zarar verme riski olmaksızın güvenli bir ortamda pratik yapma, hata yaparak öğrenme, eleştirel düşünme ve kriz yönetimi becerileri kazanma imkânı sunar. Simülasyon türleri olarak; kısmi görev simülatörleri, bilgisayar ve web tabanlı sistemler, yüksek gerçeklikli simülatörler, sanal/artırılmış gerçeklik, haptik sistemler, simüle hastalar ve hibrit ön plana çıkmaktadır. Yüksek maliyet ve zaman gereksinimi gibi sınırlılıklarına rağmen simülasyon, klinik eğitimin güçlü bir tamamlayıcısıdır.
Simülasyon temelli doğum eğitimi, öğrencilerin mesleki yetkinliklerini ve hasta güvenliğini doğrudan artıran, müfredatın vazgeçilmez bir parçasıdır. Literatürde simülasyon eğitiminin öğrencilerin kaygı düzeyini azalttığı; klinik öz-yeterlilik, öz-güven, teorik bilgiyi pratiğe aktarma ve psikomotor becerilerini artırdığı bildirilmektedir. Hasta açısından bakıldığında, deneyimsiz öğrencilerin ilk uygulamalarından kaynaklı riskleri engeller, hasta haklarını korur ve bakım kalitesini yükseltir. Doğuma hazırlık sınıflarındaki hibrit uygulamalar ise anne adaylarının gerçeklik şokunu önleyerek doğum öz-yeterliliğini destekler. Eğitici ve kurumlar için ise değerlendirmede standartlaşma, prestij ve malpraktis güvenliği sağlar. Bu nedenle bu metin, doğumda simülasyon eğitiminin sağlık bilimleri öğrencileri üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemek amacıyla hazırlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Doğum eğitimi, Simülasyon temelli eğitim, Obstetri, Sağlık bilimleri öğrencileri

THE EFFECTS OF SIMULATION-BASED TRAINING ON STUDENTS DURING THE BIRTH PROCESS ON STUDENTS

ABSTRACT
Qualified obstetric care plays a critical role in reducing preventable maternal deaths. However, the inadequacy of traditional educational models in teaching obstetrics necessitates simulation-based education. Simulation offers students the opportunity to practice in a safe environment without the risk of harming real patients, learn through trial and error, and acquire critical thinking and crisis management skills. Prominent types of simulation include partial-task simulators, computer- and web-based systems, high-fidelity simulators, virtual/augmented reality, haptic systems, simulated patients, and hybrid models.
Despite limitations such as high cost and time requirements, simulation serves as a powerful complement to clinical education. Simulation-based childbirth education is an indispensable component of the curriculum that directly enhances students' professional competence and

patient safety. The literature reports that simulation training reduces students' anxiety levels while increasing clinical self-efficacy, self-confidence, the ability to translate theoretical knowledge into practice, and psychomotor skills. From the patient's perspective, it prevents risks arising from inexperienced students' initial applications, protects patient rights, and elevates the quality of care. Meanwhile, hybrid practices in childbirth preparation classes support expectant mothers' birth self-efficacy by preventing reality shock. For educators and institutions, it provides standardization in evaluation, institutional prestige, and malpractice security. Therefore, this text was prepared to examine the effects of simulation training in childbirth on health sciences students in light of the current literature.
Keywords: Childbirth education, Simulation-based education, Obstetrics, Health sciences students

GİRİŞ

Gebelik, doğum ve doğum sonu dönemine ilişkin komplikasyonlar (omuz distosisi, eklampsi, postpartum hemoraji, sepsis, vb.), günümüzde hâlâ dünya genelinde önlenebilir anne ölümlerinin büyük bir kısmından sorumludur (UNMMEI, 2025; WHO, 2025). Bu ölümleri önlemenin temel yolu etkin bir bakımdan geçmektedir. Etkili obstetrik bakım için yalnızca kuramsal bilgi birikimi yeterli değildir; erken tanı, hızlı ve doğru karar verme, teknik beceri, etkili iletişim, ekip iş birliği ve liderlik gibi çok boyutlu yetkinlikler gereklidir (van Tetering et al., 2023).

Öğrencilerin, klasik usta–çırak modeli içinde pasif gözleme dayalı olması, obstetrik durumların yüksek risk düzeyi ve "hata toleransının çok düşük" olması nedeniyle yeterli deneyim kazanmasını zorlaştırmaktadır (Merién et al., 2010; van Tetering et al., 2023). Buna karşın simülasyon, öğrencilere kliniğe çıkmadan önce uygulama becerilerini geliştirebilecekleri bir ortam sağlamakta, teori ve uygulama arasında öğrencinin öğrenme kabiliyetini kolaylaştıran bağlantılar oluşturmaktadır (Durmaz ve ark., 2017).

Simülasyon temelli eğitim, öğrencilerin bu karmaşık becerileri hatasız öğrenebilecekleri "güvenli bir laboratuvar" sunarak obstetrik vakaların yönetiminde önemli bir yer edinmiştir (van Tetering et al., 2023). Simülasyon; öğrencilerin gerçek hastaya zarar verme riski olmaksızın, gerçeğe çok yakın senaryolar içinde kritik müdahaleleri adım adım uygulayabilmelerine, hata yaparak öğrenmelerine ve yapılandırılmış geri bildirim aracılığıyla deneyimlerini yansıtmalarına olanak tanır (Coffey, 2015; Hazar ve Gültekin, 2019). Böylece "gör, yap, öğret" anlayışına dayalı klasik uygulamadan, yeterliliğe dayalı ve öğrenci merkezli bir öğrenme kültürüne geçiş desteklenmektedir (Akalın Şahin ve arkadaşları, 2019; van Tetering et al., 2023).

Simülasyon temelli doğum eğitimi yalnızca "doğum yaptırma becerisini" değil, aynı zamanda "kadının doğum gücüne rehberlik etme" anlayışını da kazandıran bütüncül bir öğrenme aracıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, simülasyon eğitiminin öğrencilerin bilgi düzeyi, klinik beceri, öz-yeterlik, öz-güven, kaygı düzeyi, bakım davranışları, malpraktis eğilimi ve ekip performansı üzerinde anlamlı ve çoğunlukla olumlu etkileri olduğunu göstermektedir (Ünsal Atan ve ark., 2019; Yıldırım ve ark., 2019; Bingöl ve ark., 2020; Çalım ve ark., 2020; Demirel ve ark., 2020; Durmaz, 2022; Lin, 2023; Pajohideh et al., 2023; van Tetering et al., 2023; Öztürk, 2024; Başaran ve ark., 2025; Sula, 2025; Cheng et al., 2026). Bu doğrultuda bu metin, doğumda simülasyon eğitiminin öğrenciler üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda ele almak ve sağlık profesyonellerine yol göstermek amacıyla hazırlanmıştır.

Obstetri Eğitiminde Kullanılan Simülasyon Türleri

Simülasyon, gerçek dünyanın var olan yönlerini yineleyerek ya da çağrıştırarak oluşturulan bir

doğallık içinde tamamen katılımcı bir tarzda, gerçek deneyimleri rehberli deneyimlerle değiştiren ya da geliştiren tekniktir (Durmaz Edeer ve Sarıkaya, 2015). Sağlık eğitimi açısından simülasyon; etik ve yasal hasta haklarını ihlal etmeden, hastanın durumunu riske atmadan (Hazar Uyar ve Gültekin, 2019), gerçek klinik ortam yaratarak nadir ya da sık görülen klinik olayların bilgi ve becerilerle interaktif bir şekilde öğrenilmesini sağlayan bir öğrenme biçimidir (Atakoğulu ve ark., 2020; Durán, 2020; Palancı ve Palancı, 2020; Yılmaz Esencan ve ark., 2022). Kontrollü ve güvenli bir ortamda gerçekleştirilen simülasyon, hedeflere bağlı olarak farklı düzeylerde karmaşık senaryoların geliştirilmesine izin verir (WHO, 2018; Karaduman ve Başak, 2022; van Tetering ve ark., 2023). Obstetrik eğitiminde kullanılan başlıca simülasyon türleri şunlardır:

Düşük ve orta düzey teknolojik özelliklere sahip manken veya maketler (kısmi görev simülatörleri)

İnsan anatomisinin bazı bölgelerini temsil eder ve temel psikomotor becerilerin öğrenilmesinde kullanılır (Elshama, 2020). Örneğin intravenöz kateter kolu veya kalça enjeksiyon maketleri düşük maliyetli örneklerdendir (Karadağ ve Çalışkan, 2015; Atakoğlu ve ark., 2021). Bu tür modellerle gerçekleştirilen simülasyonların normal doğum yönetiminde klinik beceri puanlarını anlamlı düzeyde artırdığı (Pajohideh ve ark., 2023) ve vajinal muayene eğitiminde muayene basamaklarını sistematik biçimde uygulama becerisini güçlendirdiği saptanmıştır (Ertürk ve ark., 2024).

Bilgisayar ve internet tabanlı simülasyonlar

İnsan fizyolojisini ve belirli görevleri modellemek için tasarlanan bu sistemler; öğrenenin klinik karar verebilmesine ve geri bildirim alabilmesine olanak tanır (Hoban ve ark., 2012). Pandemi sonrasında kaynak kısıtlı bölgelerde önemli bir alternatif hâline gelen telesimülasyon, bilgi, beceri ve öz-güven artışı sağlamıştır (Yasser ve ark., 2023). Ayrıca oyun temelli ve ciddi oyun modelleri, obstetrik acil durumlarda karar verme becerilerini güçlendirmektedir (Neubacher ve ark., 2024).

Yüksek gerçeklikli simülasyon

Öğrenenin girişimlerine gerçekçi fizyolojik tepkiler vermek üzere programlanmış bilgisayar destekli tam vücut mankenlerin kullanıldığı simülasyon türüdür. Postpartum hemoraji, omuz distosisi, eklampsi, makat geliş ve acil sezaryen gibi yüksek riskli senaryolarda tercih edilir (Sørensen, 2016). Sesli ve görsel kayıt imkânı ile teknik becerilerin yanı sıra durum farkındalığı, iletişim, önceliklendirme ve ekip liderliği becerilerinin değerlendirilmesini sağlar (Chou ve ark., 2022; Durham ve Alden, 2008).

Sanal gerçeklik ve haptik sistemler

Video oyun teknolojisinden esinlenerek geliştirilen bu sistemlerde, sanal ortamda yapılan girişimlerin mekanik ve fizyolojik tepkileri haptik (dokunma) yanıtlarla canlandırılır. Haptik sistemler, pelvik muayene sırasında öğrencinin uyguladığı dokunma basıncını sensörler aracılığıyla alarak objektif geri bildirim sağlar (Durham ve Alden, 2008; Amien ve ark., 2017). Doğum eğitimi alanında VR gözlükleriyle üç boyutlu doğum ortamına giren öğrenciler omuz distosisi manevralarını uygulayabilmektedir (Mikula ve ark., 2024; Falcone ve ark., 2024).

Standardize / simüle hasta ve hibrit simülasyonlar

Vaka senaryolarındaki hasta rolünün sağlıklı gönüllülere ya da aktörlere öğretilmesiyle yapılan yöntemdir (Atakoğlu ve ark., 2021). Oyuncu hasta ile doğum maketinin birlikte kullanıldığı hibrit simülasyonlar, öğrencilerin doğumun hem fizyolojik hem de duygusal–psikososyal yönünü anlamalarına yardımcı olur (Cooper, 2012).

Doğumda Simülasyon Eğitiminin Yararları

Öğrenci açısından yararları

Gerçek hastalar üzerinde ilk uygulamaların gerçekleştirilmesi öğrencilerde yanlış yapabilme endişesi ve hastaya zarar verme korkusu gibi stres faktörlerine yol açmaktadır (Ziv, 2005). Simülasyon; öğrenciye bireye zarar vermeyecek güvenli bir ortamda uygulama yapma, tekrarlama, hata yapıp hatalarından öğrenerek deneyim kazanma imkânı sunar (Mıdık ve Kartal, 2010; Şendir, 2013). Yetişkin öğrenme ilkelerini destekleyen bu ortamlar, eleştirel düşünme, karar verme ve psikomotor beceriler kazandırmada etkindir (Uyar Hazar ve Gültekin, 2019; Ardıç, 2015; Catling ve ark., 2016; Lendahls ve Oscarsson, 2017; Güngör Tavşanlı ve ark., 2018; Reyhan ve ark., 2018; Bingöl ve ark., 2020; Çalım ve ark., 2020; Demirel ve ark., 2020; Lin, 2023; Öztürk, 2024; Başaran ve ark., 2025; Sula, 2025; Cheng et al., 2026). Bingöl ve arkadaşları (2020), simülasyon eğitimi sonrasında öğrencilerin mesleki aidiyet duygularının ve özgüvenlerinin arttığını belirtmiştir. Ayrıca obstetrik vajinal muayeneler için simülasyon eğitimi alan öğrencilerin servikal dilatasyon ve efasman becerilerinin geliştiği saptanmıştır (Nitsche ve ark., 2015; Arias ve ark., 2016).

Hasta ve toplum açısından yararları

Simülasyon kullanımı ile deneyimsiz öğrencilerin hasta üzerinde gerçekleştireceği riskli işlemler engellenmiş olur; böylece hasta haklarına uygun güvenli bir bakım sağlanır (Mıdıklı ve Kartal, 2010; Neale, 2019). Nadir veya karmaşık senaryoları simüle etme becerisi, hasta güvenliğini ve sonuçlarını iyileştirir (Chapman ve ark., 2020; Ami ve ark., 2023). Doğuma hazırlık sınıflarında kullanılan hibrit simülasyon uygulamaları (örneğin uterus sertliği ve kanama düzeyi ayarlanabilen "PartoPants" sistemleri), anne adaylarının gerçeklik şokunu önlemekte ve doğum öz-yeterliliğini artırmaktadır (Andersen ve ark., 2019; Cohen ve ark., 2011; Yağcan ve Sezer, 2019; Zanetti, 2024). Ebelik bakış açısıyla simülasyon; mahremiyet, iletişim, saygı ve kadın merkezli bütüncül bakım anlayışının kazandırılmasında etkili bir araçtır (Cooper, 2012).

Eğitim ve eğiticiler açısından yararları

Simülasyon, eğitim programına yenilikçi bir yaklaşım katarak bilgi düzeyinin ve becerilerin transferini artırır. Eğiticilere öğrenci performansını hem biçimlendirici (formatif) hem de karar verdirici (sumatif) olarak değerlendirme fırsatı sunar (Bradley, 2006). Klinik akıl yürütme, iletişim ve ekip çalışması gibi üst düzey yetkinliklerin standart bir biçimde ölçülmesine olanak tanır (Mıdıklı ve Kartal, 2010).

Kurum açısından yararları

Simülasyon yöntemi; eğitim ve hizmet niteliğini artırma çabasının bir göstergesi olarak kuruma prestij kazandırır. Hasta otonomisine saygı duyan, etik uygulamaları önemseyen, kalite güvencesi sağlayan, malpraktis riskine karşı koruma oluşturan kurumsal bir yapı ortaya koyar (Ziv, 2005; Mıdıklı ve Kartal, 2010).

Eğitimde Simülasyon Kullanımının Sınırlılıkları

Simülasyonun eğitimde kullanımı pahalı ve zaman alıcıdır; kurumların maddi ve fiziksel sınırlılıkları bulunabilir. Kullanılan simülatör ne kadar gelişmiş olursa olsun tek başına yeterli değildir; eğiticinin motivasyonu, literatür bilgisi ve deneyimi kritik önem taşır. Gerçek bireydeki kadar birebir tepki alınamaması nedeniyle simülatörlerin klinik sahanın yerini tamamen almadığı, güçlü bir tamamlayıcı metodoloji olduğu unutulmamalıdır (Karaduman ve Başak, 2022).

SONUÇ

Obstetrik uygulamalar klinik bilgi, dikkat ve doğru zamanda müdahale gerektirmektedir. Simülasyon temelli doğum eğitimi, geleneksel klinik gözlem yöntemlerinin ötesine geçerek

öğrencilere güvenli, tekrarlanabilir ve standardize bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Bu eğitim modeli, öğrencilerin teorik bilgilerini klinik uygulamaya dönüştürmelerini, doğru karar verme ve kriz yönetimi becerilerini geliştirmelerini sağlamaktadır. Ayrıca simülasyon eğitimi, yalnızca teknik becerileri değil; kadının doğum deneyimine saygı, empatik iletişim, mahremiyetin korunması ve duygusal destek gibi temel değerleri de güçlendirmektedir. Bu yaklaşım, öğrencilerin mesleki yetkinliğini artırmasının yanı sıra anne ve yenidoğan güvenliğini de doğrudan olumlu yönde etkilemektedir. Sonuç olarak simülasyon temelli eğitim, sağlık bilimleri müfredatının vazgeçilmez bir parçası olmalı; doğumun fizyolojik yönetimi, komplikasyonların önlenmesi, iletişim ve liderlik becerilerinin geliştirilmesi amacıyla sürekli olarak entegre edilmelidir.

KAYNAKLAR

Akalın, A., & Şahin, S. (2019). Kadın sağlığı hemşireliği eğitiminde yenilikçi öğretim: Simülasyon kullanımı. *Kadın Sağlığı Hemşireliği Dergisi*, 5(1), 58–72.

Ami, O., Maran, J., Cohen, A., Hendler, I., Zabukovek, E., & Boyer, L. (2023). Childbirth simulation to assess cephalopelvic disproportion and chances for failed labor in a french population. *Scientific Reports*, 13(1), 1598. https://doi.org/10.1038/s41598-023-28459-6

Amien, M., Rachmawati, M., & Faqih, M. (2017). Virtual simulation method in hospital design. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(2), 70. https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i2.2282

Andersen, P., Downer, T., O'Brien, S., & Cox, K. (2019). Wearable simulated maternity model: making simulation encounters real in midwifery. *Clinical Simulation in Nursing*, 33, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2019.04.007

Ardıç, M. (2015). *Hemşirelik öğrencilerinin obstetrik becerilerinin geliştirilmesinde simülasyon modelinin etkisi* (Yüksek lisans tezi). Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Arias, T., Tran, A., Bréaud, J., Fournier, J. P., Bongain, A., & Delotte, J. (2016). A prospective study into the benefits of simulation training in teaching obstetric vaginal examination. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 133(3), 380–384. https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.08.028

Başaran, M., Yıldız İçigen, A., Yalap, R., Çelik, B., & Sönmez, S. (2025). Simülasyon uygulamalarının ebelik ve hemşirelik öğrencilerinin memnuniyeti ve öğrenmede kendilerine güvenlerine etkisi. *Kapadokya Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(2), 433–447. https://doi.org/10.58241/ksbd.35

Bingöl, F. B., Demirgöz Bal, M., Karakoç, A., & Aslan, B. (2020). Ebelik öğrencilerinin doğum simülasyon eğitimi deneyimleri. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(4), 711–718. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1702006

Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical Education*, 40(3), 254–262. https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02394.x

Catling, C., Hogan, R., Fox, D., Cummins, A., Kelly, M., & Sheehan, A. (2016). Simulation workshops with first year midwifery students. *Nurse Education in Practice*, 17, 109–115. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2016.02.012

Chapman, A. D., Bashour, M., Sagaria, L., Gothard, D., & Ballas, D. (2020). Simulation-based training curriculum for the management of vaginal cuff dehiscence and evisceration. *Cureus*, 12(1), e6752. https://doi.org/10.7759/cureus.6752

Cheng, H., Liu, C., Kanneganti, A., Choolani, M. A., Gosavi, A. T., & Khoo, E. T. (2026). Doğum eğitiminde sağlam manken konumlandırma için karma gerçeklik sistemi. *arXiv preprint*, arXiv:2602.05588. https://doi.org/10.48550/arXiv.2602.05588

Chou, C. Y., Wu, S. Y., & Lee, C. C. (2022). Effects of high-fidelity obstetric simulation on nursing students' performance, communication, and teamwork. *Clinical Simulation in Nursing*, 64, 15–23. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2022.02.008

Coffey, F. (2015). Learning by simulation is it a useful tool for midwifery education. *New Zealand College of Midwives Journal*, 51, 30–36. https://doi.org/10.12784/nzcomjnl51.2015.5.30-36

Cohen, E., Vozenilek, J. A., O'Connor, L. M., McGaghie, W. C., & Wayne, D. B. (2012). Simulation-based education with mastery learning improves paracentesis skills. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(1), 23–27. https://doi.org/10.4300/jgme-d-11-00161.1

Cooper, S., Cant, R., Porter, J., Bogossian, F., McKenna, L., Brady, S., & Fox-Young, S. (2012). Simulation based learning in midwifery education: a systematic review. *Women and Birth*, 25(2), 64–78. https://doi.org/10.1016/j.wombi.2011.03.004

Çalım, S. İ., Cambaz Ulaş, S., Demirci, H., & Tayhan, E. (2020). Effect of simulation training on students' childbirth skills and satisfaction in Turkey. *Nurse Education in Practice*, 46, 102808.

https://doi.org/10.1016/j.nepr.2020.102808
Demirel, G., Evcili, F., Kaya, N., & Doganer, A. (2020). The effect of episiotomy repair simulation on the anxiety and self-efficacy levels of midwifery students. *Journal of Midwifery & Reproductive Health*, 8(1), 2027–2034. https://doi.org/10.22038/jmrh.2019.42024.1479
Durán, J. M. (2020). What is a simulation model?. *Minds and Machines*, 30(3), 301–323. https://doi.org/10.1007/s11023-020-09520-z
Durmaz Edeer, A., & Sarıkaya, A. (2015). Hemşirelik eğitiminde simülasyon kullanımı ve simülasyon tipleri. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi (HEAD)*, 12(2), 121–125.
Durmaz, A., & Gün Kakaşçı, Ç. (2022). The effects of simulation-based training on midwifery student malpractice trends and student perceptions of care behaviors: A randomized controlled trial. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 6(3), 405–418. https://doi.org/10.46237/amusbfd.940905
Durmaz, A., Elem, E., Unutkan, A., & Keskin, N. (2017). The effect of simulation on vaginal delivery skills and self sufficiency levels. *Journal of Cognitive Research in Health Sciences (JoCReHeS)*, 7(2), 42–52.
Elshama, S. S. (2020). How to apply simulation-based learning in medical education?. *Iberoamerican Journal of Medicine*, 2(2), 79–86. https://doi.org/10.53986/ibjm.2020.0016
Ertürk, D. B., Şahin, G., & Öztürk, E. (2024). The effect of simulation teaching method on midwifery students' vaginal examination skills in labour. *Clinical Simulation in Nursing*, 94, 101569. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2024.101574
Falcone, V., Barbero, M., & Favre, L. (2024). Impact of a virtual reality–based simulation training for shoulder dystocia on adherence to the ALSO HELP–RER algorithm. *Scientific Reports*, 14(1), 9543. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57785-6
Güngör Tavşanlı, N., Kosova, F., Bolsoy, N., Altıparmak, S., Demirci, H., Şen, S., ... & Bozhan, E. (2018). Tam donanımlı doğum simulasyon sisteminin öğrencilerin ders başarısına ve problem çözme yeteneklerine etkisinin değerlendirilmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi (CBU-SBED)*, 5(2), 22–27. https://izlik.org/JA62TB86PJ
Hazar, H. U., & Gültekin, S. (2019). Ebelik eğitiminde simülasyon kullanımı. *Life Sciences (NWSA)*, 14(3), 74–83. https://doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.3.4B0027
Hoban, S., Bertorelle, G., & Gaggiotti, O. E. (2012). Computer simulations: tools for population and evolutionary genetics. *Nature Reviews Genetics*, 13(2), 110–122. https://doi.org/10.1038/nrg3130
Karaduman, G. Ş., & Başak, T. (2022). Hemşirelik eğitiminde kullanılan simülasyon yöntemlerinin sınıflandırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 15(1), 78–85. https://doi.org/10.46483/deuhfed.947218
Lendahls, L., & Oscarsson, M. G. (2017). Midwifery students' experiences of simulation- and skills training. *Nurse Education Today*, 50, 12–16. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.12.005
Lin, H., Liu, G., Wang, Y., Zhang, X., Chen, J., & Hu, R. (2023). The effect of virtual simulation-based training on birthing positions: A randomized controlled trial. *BMC Nursing*, 22(1), 318. https://doi.org/10.1186/s12912-023-01491-7
Mıdık, Ö., & Kartal, M. (2010). Simülasyona dayalı tıp eğitimi. *Marmara Medical Journal*, 23(3), 389–399.
Mikula, F., Sommer, T., & Schönberger, A. (2024). Training of shoulder dystocia using virtual reality: A feasibility study. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 63(5), 831–839. https://doi.org/10.1002/uog.26570
Neale, J. (2019). What is the evidence for the use of simulation training to teach communication skills in psychiatry?. *Evidence-Based Mental Health*, 22(1), 23–25. https://doi.org/10.1136/ebmental-2018-300075
Neubacher, M., Klein, C., & Bruckner, T. (2024). Game-based and virtual simulation learning in obstetric and gynecologic surgery: A scoping review. *Simulation in Healthcare*, 19(4), 312–322. https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000743
Nitsche, J. F., Shumard, K. M., Fino, N. F., Denney, J. M., Quinn, K. H., Bailey, J. C., ... & Brost, B. C. (2015). Effectiveness of labor cervical examination simulation in medical student education. *Obstetrics & Gynecology*, 126(1), 13–20. https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000000905
Öztürk, Y. (2024). Ebelik eğitiminde simülasyon kullanımının rolü ve önemi. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 9(1), 184–195. https://doi.org/10.25279/sak.1225997
Pajohideh, Z. S., Mohammadi, S., Keshmiri, F., Jahangirimehr, A., & Honarmandpour, A. (2023). The effects of normal vaginal birth simulation training on the clinical skills of midwifery students: A quasi-experiment study. *BMC Medical Education*, 23(1), 353. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04319-9
Reyhan, F., Mete, A., Sayiner, F. D., & Celik, N. (2018). Evaluating the views of midwifery students about simulation education. *International Journal of Caring Sciences*, 11(1), 239–245.
Sørensen, J. L. (2016). Simulation training for improving obstetric skills: A systematic review and meta-analysis.

Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica, 95(8), 863–871. https://doi.org/10.1111/aogs.12925
Sula, N. (2025). *Simülasyona dayalı doğum yönetimi eğitiminin ebelik öğrencilerinin klinik uygulama tutumlarına ve öz yeterliliğine etkisi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Atlas Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
Şendir, M. (2013). Kadın sağlığı hemşireliği eğitiminde simulasyon kullanımı. *Florence Nightingale Hemşirelik Dergisi*, 21(3), 205–212.
Ünsal Atan, Ş., Güleç-Şatır, D., Öztürk, R., Kavlak, O., Saruhan, A., Er-Güneri, S., & Sevil, Ü. (2019). The effect of using high fidelity birthing simulator on satisfaction and performance of nursing students in developing obstetric skills. *Florence Nightingale Journal of Nursing*, 27(1), 1–16. https://doi.org/10.26650/FNJN341399
van Tetering, A. A. C., Kromhout, H., & van de Ven, J. (2023). Simulation-based training in emergency obstetric care in Sub-Saharan and Central Africa: A scoping review. *Annals of Global Health*, 89(1), 62. https://doi.org/10.5334/aogh.3891
World Health Organization. (2023). *WHO recommendations: Intrapartum care for a positive childbirth experience*. Geneva: WHO Press.
World Health Organization. Regional Office for Europe. (2018). *Simulation in nursing and midwifery education*. Copenhagen: World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/345156
Yağcan, H., & Sezer, H. (2019). Doğuma hazırlık sınıfı eğitimlerinde kullanılabilecek inovatif bir yöntem: hibrit simülasyon. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 3(2), 72–78. https://doi.org/10.34084/bshr.577967
Yasser, N. B. M., Tan, A. J. Q., Harder, N., Ashokka, B., Chua, W. L., & Liaw, S. Y. (2023). Telesimulation in healthcare education: A scoping review. *Nurse Education Today*, 126, Article 105805. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2023.105805
Yılmaz Esencan, T., Demir Yıldırım, A., Daştan, K., & Güder, A. (2022). Normal ve riskli doğum simülasyon uygulamalarının ebelik öğrencilerinin memnuniyeti ve kendine güvenlerine etkisinin değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 10(3), 903–917. https://doi.org/10.33715/inonusaglik.1051050
Zanetti, M. R. D., Sosa, C., Foster, T., Rossello, J. L., Serruya, S., & Múcio, B. d. (2024). What are the benefits of antenatal education as a maternal health promotion tool? a systematic review with meta-analysis. *ABCS Health Sciences*, 49, e024305. https://doi.org/10.7322/abcshs.2022150.2213
Ziv, A. (2005). Simulators and simulation- Based Medical Education. In: J. Dent, & R. M. Harden (Eds.), *A Practical Guide for Medical Teachers* (pp. 211–220). London: Elsevier Limited.

OYUN ALANLARI VE MEKAN TASARIMININ ÇOCUK GELİŞİMİNE ETKİSİ
PLAYGROUNDS AND THE IMPACT OF SPACE DESIGN ON CHILD DEVELOPMENT

Hatice ÜLKER
Okan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çocuk Gelişimi ve Eğitimi Yüksek Lisans Programı
ORCİD: 0009-0009-4102-669X
Doç. Dr. Raziye PEKŞEN AKÇA
Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin MYO, Çocuk Bakımı ve Gençlik Hizmetleri Bölümü
Kayseri, TÜRKİYE
ORCID: 0000-0003-1989-8212

ÖZET
Oyun çocukların fiziksel, bilişsel, sosyal, duygusal ve duyusal gelişimini destekleyen temel etkinliklerden biridir ve çocuğun oyun oynadığı yerin özellikleri de bu etkinliğin niteliğini belirlemektedir. Oyun alanının büyüklüğü, nasıl düzenlendiği, doğal öğeler içerip içermediği ve çocuğa ne kadar hareket imkânı tanıdığı oyun deneyimini etkileyen unsurlar arasındadır. Bu derlemede oyun alanları ve mekânlarının çocuk gelişimi üzerindeki etkileri literatürdeki çalışmalar üzerinden ele alınmış konu gelişim alanları üzerinden tartışılmıştır. Alan yazın çalışmalarında çocuğun yaşına ve gelişim düzeyine göre tasarlanan oyun alanlarında çocukların daha hareketli olduğu, denge ve koordinasyon becerilerinin desteklendiği, çevreyi keşfetme ve problem çözme fırsatlarının arttığı görülmüştür. Çocukların çevreleriyle kurdukları ilişkide doğal unsurlara yer verilmesinin, farklı zemin dokuları ile renk ve ışık düzenlemelerine sahip mekânların çocukların mekânı algılama biçimlerini güçlendirdiği görülmüştür. Elde edilen bilgiler oyun alanlarının sadece çocukların fiziksel etkinlik yaptığı yerler olarak düşünülmemesi, gelişimi birçok yönden etkileyen çevreler olarak planlanması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle oyun mekânlarının güvenli, erişilebilir, yaşa uygun ve farklı gelişimsel ihtiyaçlara yanıt verebilecek şekilde tasarlanması önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Oyun Alanları, Oyun Mekânları Çocuk Gelişimi, Mekânsal Tasarım

THE IMPACT OF PLAYGROUNDS AND SPACE DESIGN ON CHILD DEVELOPMENT

ABSTRACT
Play is one of the main activities that support the physical, cognitive, social, emotional and sensory development of children, and the characteristics of the place where the child is playing determine the nature of this activity. The size of the playing area, how it is arranged, whether it contains natural elements and how much movement it gives to the child are among the elements that affect the playing experience. In this review, the effects of playgrounds and places on child development are discussed through the subject development areas discussed through the studies in the literature. In the field summer studies, it was seen that children are more active in the play areas designed according to the age and development level of the child, balance and coordination skills are supported, and opportunities to explore the environment and problem solving are increased. It has been seen that the inclusion of natural elements in the relationship

of children with their environment and the spaces with different floor textures and color and light arrangements strengthen the way children perceive space. The information obtained indicates that playgrounds should not be considered as places where children do physical activity only, but should be planned as environments that affect development in many ways. For this reason, it is recommended to design game spaces in a way that is safe, accessible, age-appropriate and responsive to different developmental needs.
Keywords: Oyun Alanları, Oyun Mekânları Çocuk Gelişimi, Mekânsal Tasarım

1. GİRİŞ

Çocukluk dönemi insanın fiziksel, bilişsel, sosyal ve duygusal gelişiminin temellerinin oluştuğu dönemdir. Bu yıllarda çocuğun çevresiyle kurduğu ilişkiler ile yaşadığı deneyimler gelişim sürecini önemli ölçüde etkilemektedir. Çocuğun kendini ifade etmesini, çevresini tanımasını, yeni şeyler denemesini ve farklı beceriler kazanmasını sağlayan oyun da bu nedenle çocuk gelişiminin temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Oyun çocuğun sadece eğlendiği bir etkinlik değildir. Çocuk oyun sırasında öğrenir, keşfeder, karşılaştığı sorunlara çözüm arar ve diğer çocuklarla ilişki kurmayı öğrenir (Polat & Kara, 2023).

Çocukların oyun deneyimleri oyunun oynandığı mekânın özelliklerinden bağımsız olarak düşünülemez. Oyun alanının ne kadar büyük olduğu, nasıl bir düzene sahip olduğu, zemininde hangi malzemelerin kullanıldığı ve doğal öğeler bulunup bulunmadığı, çocukların alanı kullanma şeklini ve orada yaptıkları etkinlikleri değiştirebilmektedir. Çocukların rahatça hareket edebildiği, çevresini keşfedebildiği ve farklı oyun türlerini deneyebildiği mekânlar ise gelişimsel ihtiyaçların karşılanması açısından ayrıca önem taşır. Oyun alanlarının çocukların yaş ve gelişim düzeyleri göz önüne alınarak düzenlenmesinin, fiziksel etkinliklerin yanında bilişsel ve sosyal deneyimlerin de artmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Sumiya & Nonaka, 2021; Yang & Kuang, 2025).

Plansız kentleşme ve artan yapılaşma çocukların dışarıda güvenle oynayamamasına neden olabilmekte, çocukların doğal ve açık alanlarda oyun oynama imkânlarını her geçen gün daha da kısıtlamaktadır. Bu durum çocukların doğal çevreyle olan etkileşiminin azalmasına ve oyun deneyimlerinin değişmesine de neden olmaktadır (Canli & Demirarslan, 2020). Öte yandan içinde doğal unsurların bulunduğu ve çocuklara farklı şekillerde hareket etme imkânı veren oyun alanları, çocukların çevreyi keşfetmelerine, motor becerilerini kullanmalarına ve arkadaşlarıyla etkileşim kurmalarına fırsat vermektedir. Doğal oyun alanlarının motor gelişime etkisini inceleyen araştırmalarda da bu tür ortamların çocukların denge, koordinasyon ve hareket becerilerini desteklediği vurgulanmıştır (Fjørtoft, 2004).

Oyun mekânları çocuk gelişimi açısından değerlendirilirken yalnızca fiziksel özelliklere değil, mekânın duyusal ve algısal özelliklerine de dikkat etmek gerekmektedir. Renk, ışık, yüzey dokusu, ses, koku ve doğal malzemeler, çocuğun çevresini nasıl algıladığını ve mekânla nasıl ilişki kurduğunu etkiler. Sosyal gelişim açısından ise çocukların birlikte oynayabileceği, paylaşmayı, iş birliğini deneyimleyebileceği güvenli ve erişilebilir alanların varlığı elzemdir (Erdoğan &Kuşoğlu, 2024; Karakuzu & Aksu, 2022).

Oyun mekânlarının çocuk gelişimine etkisini anlamak için bu etkinin farklı gelişim alanlarında ele alınması gerekmektedir. Bu gerekçeler ışığında oyun mekânlarının fiziksel-motor, bilişsel-zihinsel ve sosyal-duyusal gelişimle ilişkisi mevcut literatür üzerinden incelenmiş, çocukların gelişimsel gereksinimlerini gözeten oyun alanı tasarımının neden önemli olduğu incelenmiştir.

2. OYUN VE ÇOCUK GELİŞİMİ

Oyun, çocuğun farklı duyguları yaşadığı, kendini tanıdığı ve iç dünyasını davranışlarıyla dışa vurduğu bir etkinliktir. Bedensel, bilişsel, duygusal, sosyal ve psikolojik gelişimi birlikte

beslediği için sağlıklı büyümenin vazgeçilmez parçalarından biri sayılır. Beslenme, sevgi, barınma ve bakım ne kadar temel bir gereksinimse oyun da çocuk için o kadar temeldir (Polat & Kara, 2023). Oyunun ve oyuncağın geçmişi insanlık tarihi kadar eskidir. Antropolojik çalışmalar oyunu, insanın yaratıcı gücünü açığa çıkaran başlıca etkinliklerden biri olarak görür. Çocuk oyuncak aracılığıyla çevresini tanır, yeni bilgiler edinir ve yaratıcılığını geliştirir.
Huizinga'nın Homo Ludens yaklaşımı bir adım daha ileri giderek oyunun kültürün yalnızca bir parçası olmadığını, kültürün oluşumunda ve gelişiminde belirleyici rol oynadığını savunur (Öztürk & Öztürk, 2025). Oyun tarih boyunca toplumsal değişimlerden ve teknolojik gelişmelerden etkilenmiş, oynandığı yerler, oynanış biçimi, kullanılan araç gereçler ve içerikler de bu süreçte dönüşmüştür. Oyunun açık ya da kapalı alanda oynanması, kullanılan malzemelerin çeşitliliğini belirleyen etkenlerden biridir. Dikkat çekici olan, farklı kültürlerde büyüyen çocukların doğada kurduğu oyunların çoğu zaman birbirine benzemesidir. Çünkü doğanın sunduğu malzemeler her yerde aşağı yukarı aynıdır. Taş, toprak, su, çamur, tohum, meyve ve kozalak çocukların kendi oyunlarını kurmalarına ve oyunu istedikleri gibi şekillendirmelerine imkân verir. Çocuk bu malzemeleri oyuna dönüştürürken düşünür, sorun çözer ve üretir, bir yandan da bedenini kullanarak hareket eder. Doğada grup hâlinde oynanan oyunlar iş birliği, görev paylaşımı, sıra bekleme ve paylaşma gibi sosyal becerileri geliştirir. Çocuklar, yetişkinleri gözlemleyip taklit ettikçe toplumsal rolleri ve bu rollerin getirdiği sorumlulukları da tanımaya başlar. Ne var ki kentleşme, teknolojik gelişmeler ve sosyoekonomik değişimler çocukların oyun deneyimini köklü biçimde değiştirmiştir. Doğal oyun alanlarının azalması, geniş aileden çekirdek aileye geçiş, güvenlik kaygıları ve plansız kentleşme açık alanda oynamayı kısıtlamaktadır. Sonuçta oyun giderek kapalı mekânlara taşınmakta, çocuğun doğal çevreyle teması azalmaktadır (Canli & Demirarslan, 2020).
Oyun, çocuğun çevresini tanımasında, deneyim kazanmasında ve öğrenmesinde önemli bir işlev görür. Piaget'nin bilişsel gelişim kuramı, çocuğun bilişsel gelişim düzeyi ile tercih ettiği oyun türü arasında bir ilişki olduğunu ortaya koyar. 0-2 yaş arasındaki çocuklar alıştırma oyunlarında aynı hareketleri tekrar ederek hem kendi bedenlerini hem de çevrelerindeki nesneleri tanır. 2-7 yaş döneminde ise sembolik oyunlar öne çıkar. Çocuk bu oyunlarda önceki deneyimlerini yeniden kurgular, hayal gücünü işletir, nesnelere yeni anlamlar yükler ve sosyal etkileşim becerilerini geliştirir. Ancak bu yaş grubundaki çocukların düşünme biçimi henüz benmerkezci olduğu için başkalarının bakış açısını anlamakta zorlandıkları görülür. 7-11 yaş arasında ise somut işlemler dönemine geçen çocuklarda kurallı oyunlar daha çok tercih edilir ve çocuk oyun sırasında ortak kurallara uymayı, arkadaşlarıyla iş birliği yapmayı ve grup içindeki düzene dikkat etmeyi öğrenir. Yaş dönemlerine göre görülen bu farklılıklar oyunların içeriğinin, niteliğinin ve şeklinin çocuğun yaşına ve bilişsel gelişim düzeyine göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu yüzden oyun ortamları tasarlanırken ve oyun materyalleri seçilirken bunların çocukların gelişimsel ihtiyaçlarına uygun olmasına dikkat edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Pakih, 2026).

3. OYUN MEKÂNLARININ ÇOCUK GELİŞİMİNE ETKİLERİ

Fiziksel ve Motor Gelişim

Çocukluğun ilk yılları fiziksel gelişimin hızlı ilerlediği ve çocuğun yeni öğrendiği hareketleri tekrar ederek pekiştirdiği bir dönemdir. Oyun, çocuğun bedenini aktif olarak kullandığı ve motor becerilerini geliştirdiği en temel etkinliklerden biridir. Koşma, zıplama, atlama, tırmanma ve sıçrama gibi güç gerektiren oyunlar kasların gelişimine ve hareket yeteneğinin güçlenmesine yardımcı olur. Hareketli oyunlar kaba ve ince motor becerilerin yanı sıra kas ve iskelet sisteminin güçlenmesini ve genel fiziksel yeterliliğin artmasını da destekler.

Oyuncaklarla yapılan etkinlikler ise çocuğun el-göz koordinasyonunu geliştirmesine, nesneleri kontrollü bir şekilde kullanmasına ve küçük kas becerilerini ilerletmesine katkı sağlar. Çocuk büyüdükçe fiziksel etkinlikler kasların yanı sıra solunum ve dolaşım sistemini de etkileyerek vücudun oksijen ve enerji ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Bu açılardan bakıldığında oyun ve oyuncaklar çocukların fiziksel gelişiminin farklı yönlerini destekleyen önemli araçlardır (Polat &Kara, 2023).

Günümüzde çocukların fiziksel aktivite düzeylerinin azaldığı göz önüne alındığında, oyun alanlarının çocukları hareket etmeye teşvik edecek şekilde tasarlanması daha da önemli hâle gelmiştir. Farklı oyun imkânları sunan alanlar çocukların fiziksel, bilişsel ve sosyal gelişimlerine katkıda bulunurken oyun deneyimlerinin de çeşitlenmesini sağlar. Oyun alanlarının zemini, doğal yapıları ve sunduğu imkânlar çocukların hangi etkinlikleri tercih edeceğini ve ne düzeyde fiziksel aktivite yapacağını etkileyebilir. Örneğin sert zeminler ip atlama, basketbol gibi hareketli oyunlara uygun iken çim alanlar ya da kum havuzları serbest oyun, duyusal keşif ve yaratıcılık için daha uygun ortamlardır.

Çocukların oyun tercihlerini, sosyal etkileşimlerini ve grup içindeki davranışlarını şekillendiren oyun ortamları çocukların farklı oyun biçimlerine yönelmesinde de etkili olabilmektedir. Bu nedenle çocukların gelişimsel ihtiyaçlarına uygun oyun alanlarının oluşturulması fiziksel hareketliliğin yanında bilişsel, sosyal ve duygusal gelişim açısından da önem taşımaktadır (Yang & Kuang, 2025).

Oyun alanlarında yapılan çevresel düzenlemeler çocukların oyun davranışlarının çeşitlenmesine ve fiziksel aktivite düzeylerinin artmasına da katkıda bulunabilmektedir. Tırmanmaya imkân veren tümseklerin yapılması, oyun materyallerine ulaşımın kolaylaştırılması ve farklı oyun imkânları sunan bölümlerin birbirinden ayrılması bu düzenlemelere örnek olarak verilebilir. Sumiya ve Nonaka'nın küçük çocuklarla yürüttüğü pilot çalışmada, oyun alanının mekânsal düzeni değiştirildikten sonra çocukların oyun davranışlarındaki bireysel farklılıkların daha belirgin hâle geldiği ve organize oyunlar, sportif etkinlikler, hareket temelli oyunlar ve taklit oyunları gibi farklı oyun türlerinin ortaya çıktığı bildirilmiştir. Çocukların oyun alanının farklı bölümleri arasında yaptıkları geçişlerde de değişiklikler gözlenmiştir. Çalışmada dikey olarak yerleştirilen lastikler ve tırmanılabilen bir tümsek ile oluşturulan alanların çocuklara tırmanma ve yükseklik deneyimi sağladığı ve farklı oyun davranışlarının ortaya çıkmasını desteklediği saptanmıştır. Lastik alanında üç çocuğun serbest oyun süresi artmış, çocukların lastiklerin üzerinde yürümeye başlamasıyla hareketlilikleri de yükselmiştir. Tümsek alanında ise iki çocuğun oyun süresinde belirgin bir artış olmuştur. Kum havuzunda mutfak gereçlerine ve oyuncaklara erişimin kolaylaştırılmasından sonra çocuklar sadece oturarak kumla şekil yapmak yerine kum taşıma ve mutfak gereçlerini kullanma gibi etkinliklerle alan içinde daha fazla hareket etmeye başlamıştır. Diğer oyun ekipmanlarından ayrılarak futbol gibi kurallı ve organize oyunlara uygun hâle getirilen açık alanda oynayan çocukların fiziksel aktivite düzeyinin de arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, oyun alanlarında tırmanma imkânlarının sağlanmasının, materyallere kolay ulaşılabilmesinin ve farklı etkinliklere uygun bölümlerin oluşturulmasının çocukların oyun deneyimlerini çeşitlendirebileceğini ve fiziksel hareketliliklerini artırabileceğini göstermektedir (Sumiya & Nonaka, 2021).

Yeşil alanlara erişimin çocukların fiziksel ve ruh sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Yeşil alanlar genel sağlık algısının ve yaşam kalitesinin iyileşmesi, kan basıncının düşmesi ve yetişkinlerde kardiyovasküler nedenli ölüm riskinin azalması gibi sonuçlarla ilişkilendirilmiştir. Psikolojik açıdan da yaşam doyumunu artırdığı, depresyon, anksiyete ve stres belirtilerini hafiflettiği ve zihinsel yorgunluğu giderdiği bildirilmektedir.

İnsanlar bu alanlarda dinlenir, doğayla temas kurar ve zihinsel olarak yenilenir. Yürüyüş ve benzeri aktivitelere uygun olmaları hareketli yaşamı destekler, sosyal etkileşim fırsatlarını da çoğaltır. Bu etkilerin çocuklarda daha belirgin olduğu çeşitli araştırmalarda gösterilmiştir. Çocuklarla yapılmış 12 çalışmayı kapsayan bir sistematik derlemede yeşil alanlara erişimin zihinsel iyi oluş, genel sağlık ve bilişsel gelişimle olumlu yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. Başka araştırmalar, doğayla temasın dikkatin yenilenmesine yardımcı olduğunu ve bilişsel, davranışsal ve fizyolojik iyi oluşa katkı sunduğunu göstermektedir. Yeşil alanla etkileşimin çocukluk çağı obezitesi riskini azaltabileceği de ileri sürülmektedir. Yeşil çevreler sosyal etkileşime uygun ortamlar sunar, öz düzenleme becerilerini destekler ve stresi azaltır. Bazı çalışmalarda doğayla temasın dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğuna ilişkin belirtilerin hafiflemesiyle bağlantılı olduğu, öğrencilerin duygusal ve davranışsal düzenlemesine yardımcı olduğu da belirtilmiştir. Bütün bu bulgular, yeşil alanların çocuk gelişimini fiziksel, bilişsel, duygusal ve sosyal yönden destekleyen önemli bir çevresel kaynak olduğunu göstermektedir (Bikomeye vd., 2021).

Tırmanma ağları, merdivenler, köprüler, tüneller ve denge elemanları çocukların hareket becerilerini farklı şekillerde kullanmasını sağlar. Bu tür etkinliklerle denge kurma, bedeni kontrol etme ve hareketleri koordine etme becerileri gelişir. Aktif oyuna düzenli katılım çocuğun daha sağlıklı olmasına, duruşunun desteklenmesine ve hareketli bir yaşam alışkanlığı edinmesine de yardım eder. Yaşa ve fiziksel özelliklere göre düzenlenmiş oyun alanları bu yüzden bedensel gelişimde önemli rol oynar (Erdoğan & Kuşoğlu, 2024).

4.2. Bilişsel ve Zihinsel Gelişim

Oyunun gelişimi pek çok açıdan desteklemektedir. Çocuk oyun aracılığıyla bir yandan zihinsel becerilerini geliştirirken bir yandan da ilişki kurmayı, kurallara uymayı ve çevresiyle etkileşimde bulunmayı öğrenir. Oyun çocuğa özgür bir deneyim alanı açar. Oyun belirli kurallara bağlı olarak oynanabileceği gibi kendiliğinden de gelişebilir. Çocuk bu süreçte yaşayarak öğrenir, kendi davranışlarını keşfeder ve duygularını ifade eder. Temel amacı eğlenmek ve keyif almak olsa da öğrenmeyi destekleyen ve çocuğun çevresini anlamlandırmasına yardım eden bir araçtır. Oyunun gelişime etkisi her dönemde aynı değildir. Gelişim dönemlerinin kendine özgü özelliklerine göre farklılaşabilir. Erikson'un psikososyal gelişim yaklaşımı açısından bakıldığında oyun, çocuğun gelişim özelliklerini ve çevresiyle kurduğu ilişkiyi anlamaya yardımcı olan bir pencere işlevi görür. Oyun davranışının dönemden döneme nasıl değiştiğini izlemek, çocuğun ihtiyaçlarını ve gelişimsel kazanımlarını değerlendirmek için de önemli ipuçları verir (Polat & Kara, 2023).

Piaget'nin bilişsel gelişim kuramına göre çocuğun mekân algısı, bilişsel gelişimle paralel olarak aşama aşama gelişir. İlk iki yılda çocuk mekânı duyuları ve hareketleriyle tanır. Yaklaşık iki yaşından sonra ise nesneleri ve mekânsal deneyimlerini zihninde canlandırmaya başlar. Mekânı zihinsel olarak kavrayabilmesi, daha önce yaptığı hareketlere ve çevresiyle kurduğu doğrudan temasa dayanır. Başka bir deyişle mekân algısı, fiziksel çevreyle etkileşim ve yaşayarak öğrenme yoluyla gelişir. Piaget mekân kavramının gelişimini topolojik, projektif ve metrik olmak üzere üç düzeyde ele alır. Topolojik mekân algısı yakınlık, ayrılık, sıralama, çevreleme ve süreklilik gibi temel ilişkilerin kavranmasıdır. Yedi yaş civarında çocuk nesnelerin konumlarını birbirine göre ve farklı bakış açılarından değerlendirmeye başlar. Bu, projektif mekân algısının gelişmeye başladığını gösterir. Metrik mekân algısı ise uzaklık, konum ve boyut ilişkilerinin ölçülebilir özellikleriyle kavranmasını kapsar. Bu üç düzey, çocuğun mekânsal ilişkileri giderek daha kapsamlı ve sistemli biçimde anlamasını sağlar. Dolayısıyla mekân algısının gelişimi, çocuğa çevresini keşfetme, nesneler arasındaki ilişkileri anlama ve yön bulma fırsatı veren deneyimlerle yakından bağlantılıdır (Dursun & Güller, 2019).

Mekân algısını etkileyen etkenler, çocuğun çevresiyle kurduğu ilişkinin de temelini oluşturur. En az oyun gereksinimi kadar önemli olan mekân algısı, çocuğun çevresini tanıması, anlamlandırması ve orada nasıl davranacağını düzenlemesi açısından belirleyicidir. Görme, işitme, koklama ve dokunma gibi duyusal deneyimler, mekânın özelliklerini fark etmeyi ve çevreyi anlamlandırmayı kolaylaştırır. Piaget'ye göre algı, nesneler ve hareketleri hakkında doğrudan temas ya da anlık deneyim yoluyla edinilen bilgidir. Nesnelerin mekândaki konumu, birbirleriyle ilişkisi ve yerleşim düzeni ile zaman içinde biriken deneyimler, çocuğun mekânı nasıl algıladığını ve çevresine nasıl davrandığını etkiler. Çocuk mekânsal ilişkileri anlamlandırmanın ilk aşamalarında yakınlık, ayrılık, sıralama, çevreleme ve süreklilik gibi topolojik ilişkileri kavrar. Zamanla nesneleri farklı bakış açılarından değerlendirebilir hâle gelir ve perspektife dayalı ilişkileri anlamaya başlar. Bu da çevresini daha bütüncül algılamasına yardım eder.

Montagu dokunmayı çocuğun çevresini tanımasında ve anlamlandırmasında öncelikli duyulardan biri olarak görür. Bu nedenle mekânda farklı yüzey dokularına ve dokunsal özelliklere yer vermek, çocuğun çevreyle etkileşimini ve mekânsal deneyimini zenginleştirir. Doğal ya da yapay aydınlatma da algıyı etkileyen unsurlar arasındadır. Işığın durumu çocukların dikkatini çevredeki özelliklere çekebilir ve alanın daha anlaşılır ve güvenli olarak algılanmasına yardımcı olabilir. Benzer şekilde renklerin psikolojik etkileri dikkate alınarak yapılan tasarımlar da çocukların çevreyle kurdukları ilişkiyi destekleyebilir. Mekân algısının oluşmasında işitme ve koku duyularına hitap eden çevresel unsurlar da önemlidir. Bu açıdan oyun alanlarında bulunan rüzgâr çanları, ses çıkaran ya da müzikle etkileşim sağlayan oyun elemanları, hoş kokulu bitkiler ve meyve ağaçları çocukların farklı duyularını kullanarak çevrelerini keşfetmelerine imkân verebilir. Bunun yanında mevsimlere göre değişen koşullar, gece ve gündüz arasındaki farklar ve günün farklı saatlerinde ortaya çıkan çevresel özellikler, çocukların mekânı zamanla ilişkilendirerek deneyimlemesine katkıda bulunur. Duyusal, fiziksel ve zamansal unsurların birlikte ele alındığı tasarımlar çocukların çevrelerini keşfetme isteğini destekler ve daha zengin çeşitli deneyimler yaşamalarını sağlayabilir (Pakih, 2026).

Oyun alanlarının tasarımı çocukların zihinsel gelişimi açısından da önemlidir. Çocukların yaşlarına ve gelişimsel ihtiyaçlarına uygun olarak düzenlenen ve farklı etkinliklere imkân veren mekânlar hayal gücü, yaratıcılık, dikkat, konsantrasyon ve karar verme becerilerini destekleyebilmektedir. Denge kurmayı, derinlik algısını kullanmayı ve karşılaşılan durumlara çözüm bulmayı gerektiren oyun etkinlikleri çocukların bilişsel süreçlerini harekete geçirir. Oyun ile fiziksel hareketin bir arada yapılması da çocukların öğrenmeye hazır hâle gelmelerine ve dikkatlerini daha kolay toplamalarına yardımcı olmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle aktif oyun alanları çocukların eğlenerek öğrenmelerine ve zihinsel olarak çok yönlü gelişmelerine katkı sağlamaktadır (Erdoğan & Kuşoğlu, 2024).

Mekânların fiziksel özellikleri ve çocukların bu mekânlarda geçirdikleri süre hayal gücünün gelişimi ile bedensel ve bilişsel gelişim üzerinde etkilidir. Ancak çocukların kullandığı alanlar genellikle yetişkinler tarafından tasarlanmakta ve düzenlenmektedir. Bu durumda çocuklar mekânların oluşturulması sürecine katılamamakta ve mevcut koşullara uyum sağlamak zorunda kalabilmektedir. Oysa çocukların davranışlarını sadece zekâ ve kişilik gibi bireysel özelliklerle açıklamak mümkün değildir. İçinde bulundukları fiziksel çevrenin niteliği ve mekânsal düzenlemeler de davranışların şekillenmesinde rol oynamaktadır. Bu yüzden çocukların gelişimsel ihtiyaçlarını gözeten, çevreyle etkin biçimde etkileşim kurmalarına izin veren ve tasarım hakkında görüş bildirmelerine fırsat tanıyan düzenlemeler yapılmalıdır (Aydoğan & Dilek, 2024; Pakih, 2026).

4.3. Sosyal ve Duyusal Gelişim

Çocukların gündelik yaşamda en çok kullandığı mekânlar evleri, evin yakın çevresi, okul ve kentteki oyun alanlarıdır. Bu mekânlar kimlik gelişimi, toplumsal yaşama katılım ve genel gelişim açısından önemli işlevler üstlenir. Sokak, çocuğun akranlarıyla karşılaştığı ve ilk toplumsal ilişkilerini kurduğu yerlerin başında gelir. Bu etkileşimler kişilik gelişimini, yaratıcılığı ve yetenekleri besler. Açık havada geçirilen zaman ve orada yapılan etkinlikler de fiziksel, bilişsel ve sosyal gelişim ile genel sağlık için önemlidir. Bu alanlarda serbestçe hareket edip oynayabilen çocuk çevresini keşfeder, bağımsızlık kazanır ve farklı deneyimler edinir. Bu yüzden çocukların akranlarıyla ve toplumun farklı kesimleriyle buluşabileceği, sosyal etkileşimi teşvik eden, erişilebilir ve güvenli mekânlar oluşturulmalıdır (Karakuzu & Aksu, 2022). Oyun mekânları duyusal gelişimi destekleyen pek çok uyaran da barındırır. Çocuklar bu alanları yalnızca görerek ve dokunarak değil, gözlem yaparak, sesleri ve kokuları algılayarak da keşfeder. Kullanılan renkler, dokular, aydınlatma ve malzemeler çocuğun çevresini algılama ve deneyimleme biçimini etkiler. Doğayla temas imkânı sunan oyun alanları ise duyuların etkin kullanılmasına ve çevreye ilişkin farkındalığın gelişmesine özellikle katkı sağlar (Erdoğan & Kuşoğlu, 2024).

5. SONUÇ

Oyun alanları ve mekânları çocukların çevreleriyle etkileşim kurmalarına, farklı deneyimler yaşamalarına ve gelişimsel becerilerini kullanmalarına imkân veren önemli çevresel unsurlardır. Bu derlemede incelenen çalışmalarda oyun mekânlarının fiziksel ve motor gelişimin yanı sıra bilişsel, sosyal ve duyusal gelişimle de ilişkili olduğu görülmüştür. Oyun alanlarının çocuk gelişimine etkisi yalnızca bu alanların var olmasıyla ilgili değildir. Alanın fiziksel özellikleri, mekânsal düzeni ve çocukların ihtiyaçlarına uygun olup olmadığı da bu etkiyi belirlemektedir. Fiziksel ve motor gelişim açısından değerlendirildiğinde koşma, tırmanma, zıplama ve denge kurma gibi hareketlere imkân veren oyun alanlarının çocukların farklı motor becerilerini kullanmalarını sağladığı görülmektedir. Doğal peyzaj özellikleri ve çeşitli hareket olanakları bulunan ortamlar çocukların denge, koordinasyon ve motor becerilerinin desteklenmesinde önemli bir yere sahiptir (Erdoğan & Kuşoğlu, 2024). Bu nedenle oyun alanları farklı fiziksel etkinliklere elverişli olacak şekilde düzenlenmelidir.

Bilişsel ve zihinsel gelişim açısından oyun alanları, çocuğun çevresini keşfetmesine, nesneler arasındaki ilişkileri kavramasına, hayal gücünü kullanmasına ve karşılaştığı durumlara çözüm üretmesine yardımcı olur. Farklı materyaller ve etkinlik seçenekleri sunan alanlarda çocuklar karar verme, dikkatini yönlendirme ve problem çözme becerilerini kullanma fırsatı bulur. Renk, ışık, doku ve diğer duyusal özellikler de çevrenin algılanmasında ve anlamlandırılmasında rol oynar (Dursun & Güller, 2019; Erdoğan & Kuşoğlu, 2024).

Sosyal ve duyusal gelişim açısından ise oyun alanları çocukları arkadaşlarıyla bir araya getirir. İletişim kurma, paylaşma ve iş birliği yapma deneyimi kazandırır. Görsel, işitsel, dokunsal ve kokusal uyaranlar barındıran ortamlar çocuğun duyularıyla çevresini tanımasına katkı verir. Doğayla etkileşime imkân tanıyan oyun alanları, farklı duyusal deneyimlerin yaşandığı ve çevre farkındalığının geliştiği ortamlardır (Erdoğan & Kuşoğlu, 2024; Karakuzu & Aksu, 2022).

Sonuç olarak oyun alanları tasarlanırken orayı kullanacak çocukların yaşı, gelişimsel ihtiyaçları ve farklı oyun biçimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Alanların güvenli ve erişilebilir olması, doğal öğelere ve çeşitli oyun materyallerine yer verilmesi, farklı hareket ve keşif olanakları sunulması gerekir. Çocukların oyun alanlarının düzenlenmesine ilişkin görüşlerinin alınması da ihtiyaçlarına daha uygun alanların ortaya çıkmasını sağlayabilir. Oyun alanlarını yalnızca oyun için ayrılmış fiziksel yerler olarak değil, çocuğun çok yönlü gelişimini destekleyecek biçimde planlanması gereken çevreler olarak ele almak gerekir. Bununla birlikte buradaki

değerlendirmelerin incelenen literatürle sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Oyun alanlarının farklı özelliklerinin çocuk gelişimine etkilerini daha ayrıntılı ortaya koyacak yeni araştırmalara ihtiyaç vardır.

6. KAYNAKLAR

Aydoğan, T. G., & Dilek, E. F. (2024). Çocuk dostu kentsel planlama ve tasarım ölçütleri. *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences, 7*(1), 188-211.

Bikomeye, J. C., Balza, J., & Beyer, K. M. (2021). The impact of schoolyard greening on children's physical activity and socioemotional health: A systematic review of experimental studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(2), Article 535. https://doi.org/10.3390/ijerph18020535

Canlı, S. K., & Demirarslan, D. (2020). Çocuk oyun alanlarının tarihi gelişimi. *Çocuk ve Gelişim Dergisi, 3*(6), 60-75.

Dursun, D., & Güller, C. (2019). Çocuk ve kentsel mekân ilişkisi: Erzurum'da çocuk oyun alanlarının erişilebilirlik ve alansal yeterlilik analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10*(1), 11-27.

Erdoğan, E., & Kuşoğlu, S. (2024). Çocuk mekânlari ve aktif oyun alanlari.

Fjørtoft, I. (2004). Landscape as playscape: The effects of natural environments on children's play and motor development. *Children, Youth and Environments, 14*(2), 21-44.

Karakuzu, E., & Aksu, G. A. (2022). Çocuk dostu kent kavraminin çocuk oyun mekân ilişkileri ve paydaşlar çerçevesinde değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4*(2), 147-156.

Öztürk, İ. Ö., & Öztürk, B. (2025). Çocuk gelişimine katkı sağlayan oyun alanları ve interaktif mekân tasarımı. *Journal of Interior Design and Academy, 5*(2), 224-243.

Pakih, E. Y. (2026). Çocukların bilişsel gelişiminde mekânın önemi: Yenilikçi deneyim mekani tasarımı. *Kentsel ve Yapılı Çevrede Çocuk Araştırmaları Dergisi-J-CUBE, 2*(1), 41-57.

Polat, B., & Kara, M. (2023). Oyuncak ve oyun oynamanın çocuk gelişimine etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 2*(1), 1-10.

Sumiya, M., & Nonaka, T. (2021). Does the spatial layout of a playground affect the play activities in young children? A pilot study. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 627052. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.627052

Yang, X., & Kuang, D. (2025). A systematic review on the associations between playground features and children's physical activity levels. *Landscape Architecture Frontiers, 13*(5), 68-83

ANNE SÜTÜNÜN MİKROBİYAL ZENGİNLİĞİ VE BEBEĞE YANSIMASI

Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Nursing, Department of Child Health and Disease Nursing, Konya
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X
Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR
Ondokuz Mayıs University, Faculty of Health Sciences, Department of Child Health and Disease Nursing, Samsun
ORCID ID: 0000-0002-4738-0747

Özet
Konsepsiyondan iki yaşa kadar uzanan ilk 1000 gün, bağırsak mikrobiyotasının bağışıklık, metabolizma ve nörogelişimi biçimlendirdiği kritik bir dönemdir. Anne sütü; canlı bakteriler, insan sütü oligosakkaritleri (HMO), salgısal immünoglobulin A (sIgA), kompleman, laktoferrin ve eksozomlarla taşınan mikroRNA'lar içeren canlı ve dinamik bir dokudur. Süt mikrobiyotası doğum şekli, intrapartum antibiyotik, laktasyon evresi, maternal beden kitle indeksi, diyet, psikolojik durum ve emzirme şekline göre değişmektedir. Süt ile bebek dışkısı arasındaki bakteri örtüşmesi ilk haftada en yüksektir; ancak büyük kohortlar sütün etkisinin önemli bir bölümünün HMO–*Bifidobacterium* ortaklığı ve immün bileşenler aracılığıyla dolaylı olabileceğini göstermektedir. Anne sütüyle beslenme enfeksiyonlardan korunma, astım riskinde azalma, metabolik programlama ve bilişsel gelişimle ilişkilidir. Ten tene temas ve ilk saatte emzirme, kolostrumun korunması, gereksiz formula ve antibiyotikten kaçınma ve doğrudan emzirmenin desteklenmesi hemşirelik bakımının temel hedefleri olmalıdır. Bu derlemede anne sütünün term bebeğin bağırsak mikrobiyotasını nasıl şekillendirdiği ve sağlıklı gelişime yansımaları güncel kanıtlar ışığında ele alınmıştır.
Anahtar Kelimeler: Anne sütü, mikrobiyota, emzirme, term bebek, hemşirelik

THE MICROBIAL RICHNESS OF BREAST MILK AND ITS EFFECTS ON THE INFANT

Abstract
The first 1000 days, from conception to two years of age, are a critical period in which the gut microbiota shapes immunity, metabolism and neurodevelopment. Breast milk is a living and dynamic tissue containing live bacteria, human milk oligosaccharides (HMOs), secretory immunoglobulin A (sIgA), complement, lactoferrin and exosome-borne microRNAs. The milk microbiota varies with mode of delivery, intrapartum antibiotics, lactation stage, maternal body mass index, diet, psychological status and mode of breastfeeding. Bacterial overlap between milk and infant stool is highest in the first week; however, large cohorts indicate that much of the effect of milk may be indirect, mediated by the HMO–*Bifidobacterium* partnership and immune components. Breast milk feeding is associated with protection against infections, a lower risk of asthma, metabolic programming and cognitive development. Skin-to-skin contact and breastfeeding within the first hour, protecting colostrum, avoiding unnecessary formula and antibiotics, and supporting direct breastfeeding should be core goals of nursing care. This review examines, in the light of current evidence, how breast milk shapes the gut microbiota of the term infant and the implications for healthy development.
Keywords: Breast milk, microbiota, breastfeeding, term infant, nursing

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü ilk altı ay yalnızca anne sütü, ardından tamamlayıcı besinlerle birlikte iki yaş ve ötesine kadar emzirme önermektedir; optimal emzirmenin yaygınlaştırılmasıyla her yıl yaklaşık 1 milyona yakın çocuk ölümünün önlenebileceği tahmin edilmektedir. Konsepsiyondan iki yaşa kadar uzanan ilk 1000 gün, bağırsak mikrobiyotasının gelişen bağışıklık sistemini şekillendirdiği kritik dönemdir ve bu dönemdeki disbiyoz metabolik hastalık, astım-alerji ve nörogelişimde değişikliklerle ilişkilidir (Brockway, 2024). Bu derlemenin amacı, anne sütünün term bebeğin bağırsak mikrobiyotasını nasıl şekillendirdiğini, bunun sağlığa yansımalarını ve kanıtların hemşirelik uygulamalarına aktarımını tartışmaktır.

Term Bebekte Mikrobiyotanın Oluşumu

İdeal senaryoda bebek vajinal doğumla annesinin vajinal mikroorganizmasıyla tanışır, yalnızca anne sütüyle beslenir ve antibiyotik almaz; ancak term bebeklerin yarısından fazlası sezaryen, formula ve antibiyotik maruziyeti gibi sapmalar yaşar (Brockway, 2024). Hollanda'da 714 anne-bebek çiftini izleyen bir kohort çalışmasında bebek bağırsak mikrobiyomunu birincil olarak doğum ve beslenme şeklinin belirlediği gösterilmiştir (Sinha vd., 2026).

Anne Sütünün Bileşimi ve Süt Mikrobiyotası

Canlı bir doku olarak anne sütü

Anne sütü besin öğelerinin yanı sıra hormon, immünoglobulin, sitokin, mikroorganizma ve HMO gibi biyoaktif bileşenler içerir; bileşimi emzirme sırasında, gün boyunca ve laktasyon evresine göre değişir (Brockway, 2024; Carr vd., 2021). Doğrudan memeden alınan sütte 800'den fazla bakteri türü bulunur; yalnızca anne sütüyle beslenen bebek günde yaklaşık 10^5–10^7 bakteri alır ve süt, doğum kanalından sonra bebek bağırsağının ikinci önemli kolonizasyon kaynağıdır. HMO'lar prebiyotik, cansız mikrobiyal hücreler ve kısa zincirli yağ asitleri ise postbiyotik katmanı oluşturur; soğutma, dondurma ve pastörizasyon canlı bakterileri azaltırken HMO'lar büyük ölçüde korunur (Brockway, 2024). Bu nedenle anne sütü tüm biyotikleri içeren "panbiyotik" bir besin olarak tanımlanmaktadır (Dinleyici, 2025).

Çekirdek süt mikrobiyotası ve kökeni

Sütte *Streptococcus* ve *Staphylococcus* baskındır; bunları *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas* ve *Acinetobacter* izler (Hess vd., 2025). Kolostrumda *Bifidobacterium* (%76,9) ve *Lactobacillus* (%48,6) saptanma oranı olgun sütten yüksektir; sütte ayrıca çoğu bakteriyofaj olan virüsler, mantarlar ve arkeler bulunur (Dinleyici, 2025). Süt bakterilerinin olası kaynakları annenin derisi, bebeğin ağzı, maternal bağırsaktan memeye taşınma (entero-mammary yol), annenin ağzı ve çevredir; emme sırasında sütün süt kanallarına geri akışı bebeğin ağız bakterilerinin süte geçişini açıklayabilir (Hess vd., 2025). Pompayla sağılan sütün farklı bir mikrobiyota taşıması bu retrograd inokülasyon hipotezini desteklemektedir (Moossavi vd., 2019).

Süt Mikrobiyotasını Etkileyen Faktörler

Doğum şekli, antibiyotik ve laktasyon evresi

Süt mikrobiyotası gestasyon yaşı, doğum şekli, intrapartum antibiyotik, laktasyon evresi, diyet, beden kitle indeksi (BKİ) ve coğrafyayla değişir (Zimmermann ve Curtis, 2020). Doğumda antibiyotik alan annelerin sütünde *Bifidobacterium* bolluğu daha düşüktür (Hess vd., 2025); Yapılan bir çalışmada 266 süt örneğinde intrapartum antibiyotik profilaksisi ve özel emzirme, süt mikrobiyotasını üçüncü ayda bile etkilemiştir (Stinson vd., 2025). Kanada'da yapılan bir çalışmada 393 anne-bebek çiftinde maternal BKİ, parite ve doğum şekli süt mikrobiyotasıyla ilişkili bulunmuştur (Moossavi vd., 2019). Yaşamın ilk günlerinde mide asidi, safra asitleri ve pankreas enzimlerinin düşük olması kolostrum bakterilerinin bağırsağa ulaşmasını kolaylaştırır (Hess vd., 2025).

Maternal diyet ve psikolojik faktörler

120 anne üzerinde yapılan bir çalışmada bitkisel protein, lif ve karbonhidrattan zengin diyet ile hayvansal protein ve yağdan zengin diyet süt mikrobiyotasını farklı şekillendirmiş; *Bifidobacterium* ve *Staphylococcus* karbonhidrat, *Streptococcus* ise omega-3 yağ asidi alımıyla ilişkili bulunmuştur (Cortés-Macías vd., 2021). Sistematik bir derlemeye göre maternal stres ve postpartum depresyon sütte kortizol artışı, melatonin ve prolaktin değişikliği ve depresyonda dokosaheksaenoik asit düzeyinde azalma ile ilişkilidir; bebek mikrobiyotasına etkisi ise henüz nedensel olarak gösterilmemiştir (Skowron vd., 2025). Postpartum stres, anksiyete ve depresyon yaşayan annelerin sütünde sIgA daha düşük bildirilmiştir (Carr vd., 2021).

Doğrudan emzirme, sağılmış süt ve diurnal ritim

Doğrudan emzirme canlı mikroorganizmaları, deri teması ve tüm pre- ve postbiyotikleri birlikte sunar; sağılmış ve dondurulmuş sütte canlılık azalır, pastörize donör sütünde canlı mikroorganizma düzeyi ise ihmal edilebilir düzeydedir (Brockway, 2024). Bir kohort çalışması emzirme şeklini süt mikrobiyotasının anahtar belirleyicisi olarak tanımlamış; pompayla verilen süt potansiyel patojenlerde artış ve bifidobakterilerde azalmayla ilişkilendirilmiştir (Moossavi vd., 2019). Doğrudan emzirilen bebeklerde süt–bağırsak bakteri örtüşmesi daha yüksek (Hess vd., 2025), üç yaşında astım riski sağılmış süt alanlara göre düşük olmakla birlikte her iki yöntem de formulaya göre koruyucudur (Brockway, 2024). Randomize kontrollü bir çalışmada dışkı bakteri ve metabolitlerinin 24 saatlik ritim gösterdiği, metabolit profillerinin anne sütü ve formula alanlarda farklı olduğu bildirilmiştir (Heppner vd., 2024).

Sütten Bebek Bağırsağına Aktarım ve Formula ile Karşılaştırma

Bebek, süt ve dışkı örneğini içeren 56 çalışmanın sistematik derlemesinde süt bakterilerinin bebek bağırsak bakterilerine katkısı yöntemlere göre %1–68 arasında tahmin edilmiş, 25 türde süt ve dışkıda özdeş suşlar saptanmıştır. Takson örtüşmesi bir çalışmada ilk haftada %68 iken diğer çalışmalarda 5–6,5 ayda %33 ve 9 ayda %23 bulunmuştur (Hess vd., 2025). Bu veriler sütün bebek bağırsağına hem "tohum" (bakteri) hem "gübre" (HMO, sIgA, eksozom) sağladığını düşündürmektedir. Hastanede formula verilen bebeklerde, sonradan yalnızca anne sütü alsalar bile üçüncü ayda Bifidobacteriaceae daha düşük bulunmuştur; ABD ve Kanada'da term bebeklerin %40–60'ı ilk haftada en az bir şişe formula almaktadır (Brockway, 2024).

Sağlıklı Gelişime Etkileri

Emzirme solunum yolu enfeksiyonlarını, akut otitis medyayı ve ishali azaltır. Düşük-orta gelirli ülkelerde ilk altı ay yalnızca anne sütü almak enfeksiyonlara bağlı ölümü %88 azaltmış; emzirmenin 2–24 saat geciktirilmesi ise ilk saatte başlanmasına göre yenidoğan ölüm riskini %33 artırmıştır (Dinleyici, 2025). Daha uzun süre yalnızca anne sütü alan çocuklarda astım olasılığı %19 düşüktür ve antibiyotiğe maruz kalıp üçüncü ayda anne sütü alan bebeklerde astım riskindeki azalma *B. infantis* aracılıdır (Brockway, 2024). Besin alerjisi, egzama ve alerjik rinitte koruyucu etki kanıtı ikna edici değildir. Metabolik açıdan emzirme fazla kilo ve obezite riskini %24, tip 2 diyabet riskini %24–32 azaltmaktadır; öz-düzenlemeli beslenme, sütün hormonal içeriği, lezzet öğrenme ve erken mikrobiyota olası aracılardır. Nörogelişim açısından Belarus'ta 17.046 yenidoğanı kapsayan randomize çalışmada emzirme destek grubunda 6,5 yaşında sözel IQ 7,5 puan yüksek bulunmuştur (Dinleyici, 2025).

Hemşirelik Uygulamalarına Yansımalar ve Araştırma Önerileri

Bebekteki mikrobiyal florayı belirleyen değiştirilebilir faktörlerin çoğu hemşirelik bakımının alanındadır:

- Doğumdan hemen sonra ten tene temas, ilk saatte emzirme ve kolostrumun korunması (WHO, 2022).

- Tıbbi endikasyon yoksa formula verilmemesi; ek gerekirse önce sağılmış anne sütü, sonra donör süt (Brockway, 2024).
- Akılcı antibiyotik kullanımının savunulması; antibiyotik ve sezaryen sonrasında emzirmenin yoğun desteklenmesi (Brockway, 2024).
- Doğrudan emzirmenin önceliklendirilmesi; sağım hijyeni ve süt saklama eğitimi (Brockway, 2024; Moossavi vd., 2019).
- Lif, bitkisel protein ve omega-3 içeren beslenme ile postpartum ruh sağlığı taraması ve psikososyal destek (Cortés-Macías vd., 2021; Skowron vd., 2025).

Canlılık ve suş düzeyinde analizlerin azlığı ve emzirme şeklinin kaba ölçülmesi temel araştırma boşluklarıdır (Brockway, 2024; Hess vd., 2025). Ten tene temas süresi ile bebek mikrobiyotası, stres azaltıcı girişimlerin süt bileşimine etkisi, term bebekte donör süt ile formula takviyesinin karşılaştırılması ve Türkiye'ye özgü anne–bebek kohortları öncelikli hemşirelik araştırma alanlarıdır.

SONUÇ

Anne sütü canlı, dinamik ve kişiye özgü bir panbiyotik dokudur; HMO'lar, sIgA, kompleman ve eksozomlar bebek bağırsağını seçici olarak şekillendirir ve HMO'yu kullanabilen bifidobakteriler bu ortaklığın merkezindedir. Süt–bağırsak örtüşmesinin ilk haftada en yüksek olması kolostrumun ve erken, doğrudan emzirmenin önemini ortaya koymaktadır. Sağlıklı mikrobiyota enfeksiyon, astım, metabolik sağlık ve nörogelişim açısından kazanımlarla ilişkilidir; ancak kanıtların bir bölümü gözlemseldir. Hemşirelerin bebeğin mikrobiyal mirasının bekçisi olarak konumlanması, eğitim programlarına süt mikrobiyotasının eklenmesi ve ulusal araştırmaların artırılması önerilmektedir.

Kaynaklar

Brockway M. The role of antibiotic exposure and the effects of breastmilk and human milk feeding on the developing infant gut microbiome. Front Public Health. 2024 Jun 6;12:1408246.

Carr LE, Virmani MD, Rosa F, Munblit D, Matazel KS, Elolimy AA, Yeruva L. Role of Human Milk Bioactives on Infants' Gut and Immune Health. Front Immunol. 2021 Feb 12;12:604080.

Cortes-Macías E, Selma-Royo M, García-Mantrana I, Calatayud M, González S, Martínez-Costa C, Collado MC. Maternal Diet Shapes the Breast Milk Microbiota Composition and Diversity: Impact of Mode of Delivery and Antibiotic Exposure. J Nutr. 2021 Feb 1;151(2):330-340.

Dinleyici, E. C. (2025). Breastfeeding and health benefits for the mother-infant dyad: A perspective on human milk microbiota. *Annals of Nutrition and Metabolism, 81*(Suppl. 1), 7–19. https://doi.org/10.1159/000541711

Heppner N, Reitmeier S, Heddes M, Merino MV, Schwartz L, Dietrich A, List M, Gigl M, Meng C, van der Veen DR, Schirmer M, Kleigrewe K, Omer H, Kiessling S, Haller D. Diurnal rhythmicity of infant fecal microbiota and metabolites: A randomized controlled interventional trial with infant formula. Cell Host Microbe. 2024 Apr 10;32(4):573-587.e5.

Hess D, Momo Cabrera P, Kurth S, Bokulich NA, Zimmermann P. Transfer of Bacteria From Mothers to Infants Through Breast Milk: A Systematic Review. Pediatr Infect Dis J. 2025 Mar 4;44(8):804-812.

Moossavi S, Sepehri S, Robertson B, Bode L, Goruk S, Field CJ, Lix LM, de Souza RJ, Becker AB, Mandhane PJ, Turvey SE, Subbarao P, Moraes TJ, Lefebvre DL, Sears MR, Khafipour E, Azad MB. Composition and Variation of the Human Milk Microbiota Are Influenced by Maternal and Early-Life Factors. Cell Host Microbe. 2019 Feb 13;25(2):324-335.e4.

Sinha T, Brushett S, Fernández-Pato A, Garmaeva S, Andreu-Sánchez S, Spreckels JE, Mallon

CA, Kuzub N, Gois MB, Wu J, Kruk M, Jankipersadsing SA, Dekens JAM, Gacesa R, Vila AV, Bang C, Perenboom C, Franke A, Tytgat HLP, Mottaz SC, Peters L, de Jonge A, Verkade HJ, Swertz MA, Wijmenga C, Kuipers F, Scherjon S, Sikkema J, Sprikkelman AB, de Kroon MLA, Prins JR, Gordijn SJ, Koppelman GH, Reijneveld SA; Lifelines NEXT cohort study; Fu J, Yassour M, Kurilshikov A, Zhernakova A. Maternal influences on infant gut microbiome and health. Nature. 2026 Oct;658(8134):218-229.

Skowron K, Lichocki I, Godziszewski F, Orczyk-Pawiłowicz M. From Mind to Milk: The Influence of Psychological Factors on the Composition of Human Breast Milk. Nutrients. 2025 Mar 20;17(6):1093.

Stinson LF, Pang WW, Rea A, Fok D, Chua MC, Tan KH, Yap F, Godfrey KM, Shek LP, Eriksson JG, Chong Y-S, Chan S-Y, Wlodek M, Geddes DT. Composition of the human milk microbiome in the GUSTO cohort is shaped by intrapartum antibiotic prophylaxis and breastfeeding exclusivity. mSystems. 2025 Oct 22;10(10):e0067725.

WHO recommendations on maternal and newborn care for a positive postnatal experience. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Zimmermann P, Curtis N. Breast milk microbiota: A review of the factors that influence composition. J Infect. 2020 Jul;81(1):17-47.

ÇOCUKLARDA OPİOİT KULLANIMI

Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 42150 Konya
ORCID ID: 0000-0001-8977-9775
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Nursing, Department of Child Health and Disease Nursing, 42150 Konya **ORCID ID:** 0000-0003-3269-445X

ÖZET
Ağrı, gerçek ya da potansiyel doku hasarına bağlı olarak gelişen hoş olmayan bir duyusal ve duygusal deneyim olarak tanımlanan bir olgudur. Ağrıyı kökenine göre nosiseptif, nöropatik veya karma tip olarak sınıflandırmak mümkündür. Çocuklarda ağrının yönetiminde non-farmakolojik ve farmakolojik yöntemler uygulanmaktadır. Non-farmakolojik olarak ağrının yönetiminde bilişsel davranışsal yöntemler, fiziksel yöntemler ayrıca tamamlayıcı terapiler kullanılmaktadır. Çocuklarda ağrının farmakolojik yönetimi en yaygın ve en etkili olan tedavi yöntemidir. Bu amaçla kullanılan farmakolojik ilaç tedavisi, non-opioid analjezikler, opioid analjezikler ve destekleyici ilaçlar olarak gruplara ayrılır. DSÖ analjezi için; ilaçların düzenli olarak, belirli aralıklarla, öncelikle ağız yolundan verilmesi ve gerektiğinde basamaklara uygun olarak doz ayarlaması yapılmasını tavsiye etmektedir. Özellikle yaşam sonu bakım gereken çocuk hastalarda düşük ağrıda non-opioidler ile tedaviye başlanması, orta ve şiddetli ağrıda güçlü opioidlerin kullanılması önerilmektedir. Parasetamol ve ibuprofen çocuklarda ağrı tedavisinde en sık tercih edilen non-opioid sınıfı ilaçlardır. Çocuklarda görülen ağrı tedavisinde opioid sınıfı ilaçlar da şiddetli ağrılarda kullanılır. Tedavide trisiklik antidepresanlar, benzodiazepinler, nöroleptikler, antikonvülsanlar ve glukokortikosteroitler gibi bazı ilaç grupları da yardımcı analjezik olarak kullanılmaktadır. Özellikle çocuk hastalar söz konusu olduğunda ilaç tedavisi, belirlenen genel ilkelere göre uygun ilaçlarla tedavinin her bir çocuk için bireysel bir tedavi planı oluşturulup uygulanması gerektiği unutulmamalıdır. Bu bildiride çocuklarda ağrı yönetiminde kullanılan temel ilaç grupları ve etkinliği hakkında veriler sunulmuştur.
Anahtar kelimeler: Ağrı, çocuk, farmakolojik tedavi.

OPIOID USE IN CHILDREN

ABSTRACT
Pain is defined as an unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage. It can be classified based on its origin as nociceptive, neuropathic, or mixed-type pain. Both non-pharmacological and pharmacological methods are employed in the management of pain in children. Non-pharmacological approaches include cognitive-behavioral techniques, physical methods, and complementary therapies. Pharmacological management is the most common and effective treatment method for pain in children. Pharmacological agents used for this purpose are categorized into non-opioid analgesics, opioid analgesics, and adjuvant medications. For analgesia, the WHO recommends administering medications regularly at specific intervals—preferably via the oral route—and adjusting dosages according to a stepped approach when necessary. Particularly for pediatric patients

requiring end-of-life care, it is recommended to initiate treatment with non-opioids for mild pain and to use strong opioids for moderate to severe pain. Paracetamol and ibuprofen are the most frequently preferred non-opioid medications for pain management in children. Opioids are also used to treat severe pain in children. Certain drug classes—such as tricyclic antidepressants, benzodiazepines, neuroleptics, anticonvulsants, and glucocorticosteroids—are also utilized as adjuvant analgesics. It must be remembered that, especially regarding pediatric patients, pharmacological treatment requires the creation and implementation of an individualized plan for each child, utilizing appropriate medications in accordance with established general principles. This presentation provides data on the main drug groups used for pain management in children and their efficacy.
Keywords: Pain, child, treatment

1. GİRİŞ

1.1. Ağrının Tanımı ve Sınıflandırılması

Ağrı, "gerçek ya da potansiyel doku hasarına bağlı olarak gelişen hoş olmayan bir duyusal ve duygusal deneyim" şeklinde tanımlanır (Loeser and Treede 2008). Bu tanıma göre, ağrı yalnızca fiziksel hasarı değil, geniş bir yelpazede duygusal ve zihinsel bileşenleri de içermektedir (Downing et al. 2015). Cicely Saunders'ın ortaya koyduğu "Bütünsel Ağrı" (total pain) kavramı ise ağrının fiziksel, duygusal, sosyal ve manevi boyutlarını ele alır (Richmond 2005; Zernikow and Printz 2022). Ağrı, kökenine göre nosiseptif, nöropatik veya karma tip olarak sınıflandırılabilir. Nosiseptif ağrı, ağrı reseptörlerinin doğrudan uyarılması sonucu oluşur ve somatik ya da visseral olarak ikiye ayrılır. Somatik ağrı, deri, kas ya da kemik dokusunda meydana gelir ve belirgin bir şekilde lokalize edilebilir. Visseral ağrı ise iç organ kaynaklı olup daha geniş veya derin hissedilen, lokalizasyonu zor bir ağrı türüdür (Yağcı and Saygin 2019). Sinir dokusundaki yapısal bir bozukluktan kaynaklanan nöropatik ağrı ise yanma, hipoestezi, dizestezi, hiperaljezi ve allodini gibi kendine has belirtilerle ortaya çıkar. Farklı ağrı türleri, farklı tedavi yaklaşımları gerektirdiğinden ağrının kaynağının doğru tespiti önemlidir. Sebebi belirlenemeyen ağrılar ise idiyopatik olarak adlandırılır. Ağrı süresine göre akut ya da kronik olarak da sınıflandırılabilir; üç aydan uzun süren ağrılar kronik kabul edilir (Öztek Çelebi and Zernikow 2021; Yağcı and Saygin 2019).

2. AĞRI YÖNETİMİ

2.1. Ağrının Non-Farmakolojik Yönetimi

Pediyatrik ağrı kontrolünde, ilaçsız yöntemler oldukça önemli bir yer tutar. Çocuklarda etkin bir ağrı yönetimi için uygun analjezi sağlanırken sedasyonun aşırıya kaçmaması gerekir. Bunun için, non-opioid ve opioid analjezikler ile yardımcı ilaçlar anestezik müdahalelerle bütüncül terapiler şeklinde entegre edilir. Bu yaklaşımlar, bilişsel davranışsal yöntemler ile fiziksel yöntemleri içermektedir. Ayrıca gevşeme, meditasyon, yoga, biofeedback, grup desteği gibi çeşitli tamamlayıcı terapiler de çocuklarda ağrıyı azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Downing et al. 2015).

2.2. Ağrının Farmakolojik Yönetimi

Çocuklarda ağrıyı hafifletmede en yaygın ve etkili yol ilaç tedavisidir. Bu tedavide kullanılan ilaçlar; non-opioid analjezikler, opioid analjezikler ve destekleyici ilaçlar olarak sınıflandırılır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), kanser hastalarında uygun ağrı yönetimini sağlamak amacıyla 1986 yılında analjezi merdiveni modelini tanıtmıştır (WHO 1996). DSÖ'nün analjezi merdiveni modelinin üç temel prensibi vardır: İlaçların düzenli olarak, belirli aralıklarla, ağız yolundan verilmesi ve gerektiğinde basamaklara uygun olarak doz ayarlaması yapılması (Anekar et al. 2023). Çocuklarda ise bu merdiveni zayıf opioidleri kaldırarak iki basamaklı bir sistem olarak

düzenlemiştir. Özellikle yaşam sonu bakım gereken hastalarda düşük ağrıda non-opioidler ile başlanmasını, orta ve şiddetli ağrıda güçlü opioidlerin kullanılması önerilmektedir (Afshan and Bashir 2014). Bu iki basamaklı model bazı uzmanlar tarafından desteklenirken, diğerleri tarafından eleştirilmektedir (Downing et al. 2015; Zernikow and Printz 2022). Ayrıca DSÖ Kılavuz Geliştirme Grubu, çocuklarda kodeinin güvenliğine dair yeterli kanıt bulunmadığını vurgulamaktadır. Bazı ülkelerde tramadol, 12 yaş altındaki çocuklar için onaylanmamıştır ve güvenilirlik verileri sınırlıdır. İki basamaklı sistemi tercih eden uzmanlar, çocuklarda kodein ya da tramadol yerine morfinin daha etkili bir ağrı yönetimi sağladığını savunmaktadır (Downing et al. 2015).

2.2.1. Çocuklarda Farmakolojik Ağrı Tedavisinin Temel İlkeleri

a. Analjezik seçiminde DSÖ'nün basamak modeli dikkate alınmalı, erken dönemde opioidler kullanılmaya başlanmalıdır.

b. Engelli çocuklar, yenidoğanlar ve bebekler opioid tedavisine başlarken daha düşük dozlar almalıdır.

c. Belirli ağrı sendromları (örneğin kemik ağrıları) için opioid ve non-opioid analjezik kombinasyonları etkili olabilir. Analjezik tercihi, ağrının patofizyolojisi ve olası yan etkiler dikkate alınarak yapılmalıdır.

d. Oral uygulama tercih edilmelidir, çünkü bu yol hem güvenli hem de esnektir. En şiddetli ağrılar bile ağız yolundan tedavi edilebilir; kas içi enjeksiyonlardan kaçınılmalı, gerekirse intranazal veya transdermal yollar tercih edilmelidir.

e. Analjezikler belirli aralıklarla, gerektiğinde ise kaçak ağrılar için ek dozlar halinde verilmelidir.

f. Opioid kullanımının sık rastlanan yan etkilerinden kabızlık için önleyici tedavi sağlanmalıdır. Diğer yan etkiler de öngörülerek hızlı ve uygun müdahaleler yapılmalıdır.

g. Etkili bir ağrı yönetimi için tedavinin etkinliği ve yan etkileri yazılı olarak kaydedilmelidir (Zernikow and Printz 2022).

2.2.2. Çocuklarda Ağrı Tedavisinde Kullanılan İlaçlar

Non-opioidler

Parasetamol: Çocuklarda yaygın ve güvenilir bir analjezik ve antipiretik olarak kullanılan parasetamol, yenidoğan döneminden itibaren uygulanabilir (Cuzzolin et al. 2013). Trombosit işlevini etkilemez, antiinflamatuar etkisi yoktur; gastrointestinal hasar nadiren görülür. Ancak uzun süreli kullanımda, özellikle 72 saat sonrasında dozun azaltılması önemlidir, çünkü hepatotoksisite riski vardır.

Non-steroidal anti-inflamatuar ilaçlar (NSAİİ'ler): Parasetamolden daha güçlü antiinflamatuar etkisi olan bu grup ilaçlardan çocuklarda en sık tercih edilen ilaç ibuprofendir. Gastrointestinal mukoza üzerindeki yan etkileri sık görülür ve nefrotoksisite riski taşır. Kanama riskini artırabilir. Yaşamın ilk 3-6 ayında önerilmez (Zernikow and Printz 2022).

Opioidler

DSÖ temel sağlık ihtiyaçları için vazgeçilmez sayılan kodein, morfin, fentanil, metadon ve loperamidi Temel İlaçlar Listesi'ne dâhil etmiştir (WHO 2017). Türkiye'de opioid kullanımı, gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında oldukça düşüktür (Scholten et al. 2020). Opioidlerin kullanımı sırasında yan etkileri izlenmelidir. En önemli yan etkileri:

a. *Kabızlık:* Opioid kullanımının en sık rastlanan yan etkisidir ve profilaktik olarak tedavi gerektirir.

b. *Bulantı-Kusma:* Başlangıçta sık görülen bu yan etkiye karşı antiemetik (ondansetron gibi) ilaçlar faydalı olabilir.

c. *Kaşıntı:* Sık görülen bir yan etki olup, gerekirse farklı bir opioid tedavisine geçilebilir

(Ganesh and Maxwell 2007).
d. *İdrar Retansiyonu:* Nadir görülür; mesaneye ılık kompres veya kateterizasyon gerekebilir.
e. *Solunum Depresyonu:* Nadir fakat ciddi bir yan etki olup nalokson ile müdahale edilmesi gerekebilir.
f. *Miyoklonus:* Yüksek dozlarda oluşur; benzodiazepinlerle veya opioid rotasyonu ile tedavi edilir.
g. *Fizyolojik veya psikolojik bağımlılık:* Opioidlerle etkili ağrı yönetimindeki önemli engellerden biri bağımlılık korkusudur. Tolerans, opioidin sürekli kullanımıyla etkisinin azalmasıdır; hastalar aynı etkiyi elde etmek için giderek daha yüksek dozlara ihtiyaç duyar. Ancak sedasyon ve solunum depresyonuna karşı tolerans, ağrı kesici etkiye kıyasla daha hızlı gelişir, bu yüzden yüksek dozlarda bile aşırı sedasyon veya solunum depresyonu riski düşüktür. Yoksunluk opioidin aniden kesilmesi veya dozunun azaltılması durumunda ortaya çıkar. Yoksunluk sendromu, sinirlilik, huzursuzluk, otonom uyarılma, burun tıkanıklığı, piloereksiyon, ishal ve jitternes ile karakterizedir; bu durum, güçlü opioidlerin >5-7 gün süreyle uygulanmasıyla ortaya çıkar. Bağımlılık, bir psikiyatrik patoloji olup, psikolojik istek, kompulsif ilaç arama davranışı ve tıbbi zarara rağmen ilaç kullanımını ifade eder. Tıbbi nedenlerle opioidlerle tedavi edilen çocuklar üzerine yapılan araştırmalar madde kötüye kullanımı geliştirme riskinde bir artış olmadığını bulmuştur (Zeltzer 2020).

Zayıf Etkili Opioidler

Tramadol gibi zayıf etkili opioidlerin kullanımı çocuklarda bazı tartışmalara konu olmaktadır. Kodeinin çocukluk yaş grubunda güvenli olmadığı konusunda fikir birliği mevcuttur.
Tramadol, opioid reseptörleri üzerinde saf etki gösteren bir agonisttir ve analjezik etkisini serotonin salımını artırarak ve noradrenalinin sinir hücrelerine geri alımını engelleyerek sağlar. Çocuklarda tramadol kullanımı, bulantı, kusma ve solunum depresyonu gibi yan etkilere nadiren yol açar. Ancak, konvülzyon riskini artırdığı bilinmektedir (Zernikow and Printz 2022). Tramadol, Türkiye'de damla, kapsül, tablet ve intravenöz formda bulunmaktadır.

Güçlü Etkili Opioidler

Eğer çocuk palyatif bakım alıyorsa, özellikle ileri evre hastalarda güçlü etkili opioidler ilk tercih edilen ilaçlar arasındadır. Bu dönemdeki çocukların %75-96'sında opioid tedavisi uygulanmaktadır; en yaygın kullanılan opioid ise morfindir. Altı aylıktan küçük bebeklerde ve serebral hasarlı çocuklarda tedaviye önerilen dozun 1/3 veya 1/4'ü ile başlanmalıdır. Güçlü opioidlerin 5 günden fazla süren kullanımı sonrası, ilacın dozu kademeli olarak 3-4 gün içinde azaltılmalıdır. Daha uzun süreli kullanımda ise önce günlük %20-40, ardından %5-20 oranında azaltılmalıdır. Çekilme belirtileri gözlenirse doz azaltma süreci geçici olarak durdurulmalıdır.
Morfin: Çocuklarda güvenle kullanılabilen, kolay erişilebilen bir güçlü opioiddir (Downing et al. 2015). Morfin için üst bir doz sınırı bulunmamaktadır; ağrıyı kesen doz etkin dozdur. Türkiye'de morfin, intravenöz, intramüsküler, tablet ve uzun salımlı tablet formunda bulunur. Oral biyoyararlanımı intravenöz forma göre daha düşüktür (%30). Böbrek yetmezliği durumunda, morfin ve metabolitlerinin böbreklerden atılımı yavaşlayabilir ve merkezi sinir sistemi yan etkileri görülebilir. Uzun salınımlı tabletlerin mekanik olarak bölünmesi önerilmez.
Fentanil: Morfinden yaklaşık 100 kat daha güçlü olan fentanil, intravenöz ve transdermal formlarda çocuklar için sıklıkla tercih edilir. İğneli işlemler için intravenöz formu uygunken, transdermal formu 2 yaş üstü çocuklarda stabil ağrı tedavisi için kullanılır. En küçük dozu 12,5 µg/saat olan fentanil transdermal forma geçişte, minimum günlük oral morfin eşdeğer dozu 30 mg/gün gereklidir. Transdermal form, etkisini 12 saat sonra gösterip 48 saat devam eder. Ateş, fentanilin salım hızını artırarak daha yüksek kan düzeylerine yol açabilir. Transdermal fentanil kullanan hastalarda ekstra ağrılar için morfin veya diğer fentanil formları kullanılabilir.

Morfin ve fentanil dışında hidromorfon, oksikodon, piritramid, metadon, levometadon, petidin ve buprenorfin gibi opioid türleri de mevcut olup, DSÖ bu ilaçların çocuklarda kullanımı konusunda temkinli yaklaşmaktadır (WHO 2020).

Yardımcı Analjezik Ajanlar

DSÖ, analjezi merdiveninin tüm aşamalarında yardımcı analjeziklerin kullanımını desteklemektedir. Eğer çocuk palyatif bakım alıyorsa özellikle uykusuzluk, anksiyete ve belirli ağrı sendromları yaygındır. Bu durumlar için önerilen bazı ilaçlar şunlardır:

Trisiklik Antidepresanlar: Yanıcı özellikteki nöropatik ağrı, hayalet ağrı ve diğer kronik ağrı durumlarında etkilidir. Aynı zamanda ağrıya bağlı uyku problemlerinde de kullanılabilir.

Benzodiazepinler: Şiddetli uyku bozuklukları, epileptik nöbetler, anksiyete ve nefes darlığı durumlarında uygulanabilir.

Nöroleptikler: Özellikle ciddi dispne veya sedasyon gerektiren durumlarda etkilidir.

Antikonvülsanlar: Gabapentin ve pregabalin, nöropatik ağrı tedavisinde kullanılır. Ayrıca, şiddetli distoni, visseral hiperaljezi veya özel ağrı davranışları gösteren ağır engelli çocuklar için uygundur. Trisiklik antidepresanlarla birlikte kombinasyon yapılabilir; karbamazepin trigeminal nevralji tedavisinde de etkilidir.

Glukokortikosteroidler: Deksametazon, intrakranial basınç artışı, bulantı-kusma, tümör infiltrasyonu, spinal bası, sinir sıkışması, kemik metastazları ve karaciğer kapsül ağrısı gibi durumlar için kullanılabilir.

Ketamin: Çeşitli ağrı türlerinde, nöropatik ağrı dâhil olmak üzere, etkili bir analjeziktir. Opioid tedavisine destek olarak da kullanılabilir. Ülkemizde intravenöz formda mevcuttur.

Çocuk palyatif bakım alıyorsa ağrı yönetimi en öncelikli semptomlardan biridir. Hastaların acısını azaltmak için etkili bir ağrı tedavisi sağlanması, ilaçlara erişim kolaylığı ve ağrıya bütüncül bir yaklaşımla mümkündür. Çocuklarda genellikle ilk basamak tedavisi yeterli olur. Ancak orta ve şiddetli ağrısı olan çocuklarda opioidlere (fentanil, morfin) geçilebilir. Opioidler her çocukta ayrı olarak titre edilerek kullanılmalıdır. Bazen ikili veya üçlü kombinasyon gerekebilir. Her bir çocuk için tedavi kişiselleştirilmelidir (T.C. Sağlık Bakanlığı, Çocuk Palyatif Bakım Klinik Rehberi 2026).

3. SONUÇ

Çocuklarda ağrının yönetiminde non-farmakolojik ve farmakolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bilişsel davranışsal yöntemler, fiziksel yöntemler ayrıca tamamlayıcı terapiler non-farmakolojik yöntemler içerisinde yer alır. Ancak çocuklarda ağrıyı hafifletmede en yaygın ve etkili yol farkolojik ilaç tedavisidir. Bu amaçla kullanılan ilaçlar; non-opioid analjezikler, opioid analjezikler ve destekleyici ilaçlar olarak sınıflandırılır. DSÖ analjezi için; ilaçların düzenli olarak, belirli aralıklarla, tercihen ağız yolundan verilmesi ve gerektiğinde ağrı şiddetine göre belirlenen basamaklara uygun olarak doz ayarlaması yapılmasını tavsiye etmektedir. Özellikle yaşam sonu bakım gereken çocuk hastalarda düşük ağrıda non-opioidler ile tedaviye başlanmasını, orta ve şiddetli ağrıda güçlü opioidlerin kullanılmasını önermektedir. Çocuklarda ağrı tedavisinde kullanılan non-opioid ilaçlar parasetamol ve ibuprofendir. Opioid sınıfına giren ilaçlardan; morfin ve fentanil güçlü, tramadol ise zayıf etkili opioid ilaç olarak tedavide kullanılır. Ayrıca bazı yardımcı analjeziklerin kullanımı da DSÖ tarafından desteklenmektedir. Acıyı azaltmada etkili bir ağrı yönetiminde, her bir çocuk için bireysel bir tedavi planı oluşturulup uygulanması gerekmektedir.

REFERENCES

Afshan G, Bashir K. (2014). Cancer pain in children: a two-step strategy. Anaesthesia Pain & Intensive Care 18(1), 106-110.

Anekar AA, Hendrix JM, Cascella M. (2023). WHO analgesic ladder. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
Cuzzolin L, Antonucci R, Fanos V. (2013). Paracetamol (acetaminophen) efficacy and safety in the newborn. Current Drug Metabolism 14(2), 178-185.
Downing J, Jassal SS, Mathews L, Brits H, Friedrichsdorf SJ. (2015). Pediatric pain management in palliative care. Pain Management 5(1), 23-35.
Ganesh A, Maxwell LG. (2007). Pathophysiology and management of opioid-induced pruritus. Drugs 67(16), 2323-2333.
Loeser JD, Treede R-D. (2008). The Kyoto protocol of IASP basic pain terminology. Pain 137(3), 473- 477.
Öztek Çelebi FZ, Zernikow B. Ağrı yönetimi. (2021). Pediatri (1. Baskı, s. 1258-1261). Akademisyen Kitabevi. Ankara. ISBN: 978-625-7146-76-3.
Richmond C. Dame Cicely Saunders. (2005). BMJ: British Medical Journal, 331(7510), 238. BMJ Publishing Group. London.
Scholten W, Christensen A-E, Olesen AE, Drewes AM. (2020). Analyzing and benchmarking global consumption statistics for opioid analgesics 2015: Inequality continues to increase. Journal of Pain & Palliative Care Pharmacotherapy 34(1), 1-12.
T.C. Sağlık Bakanlığı, Çocuk Palyatif Bakım Klinik Rehberi. (2026). Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Araştırma, Geliştirme ve Sağlık Teknolojisi Değerlendirme Daire Başkanlığı.
World Health Organization. Cancer pain relief: With a guide to opioid availability. (1996). World Health Organization. Geneva. ISBN: 978-9241544825.
World Health Organization. Guidelines on the management of chronic pain in children. (2020). World Health Organization. Geneva. ISBN: 978-9240017870.
World Health Organization. WHO model list of essential medicines, 20th list (March 2017, amended August 2017). (2017). World Health Organization. Geneva.
Yağcı Ü, Saygın M. (2019). Ağrı fizyopatolojisi. Medical Journal of Süleyman Demirel University 26(2), 209-220.
Zeltzer LK, Levy RL. Pediatric pain management. (2020). Nelson Textbook of Pediatrics (22nd ed., pp. 469-490). Elsevier. Philadelphia. ISBN: 978-0323883054.
Zernikow B, Printz M. Praktische schmerztherapie. (2022). Pädiatrische Palliativversorgung – Schmerzbehandlung und Symptomkontrolle (pp. 7-60). Springer. Berlin. ISBN: 978-3662631478.

ÇOCUKLARDA ANTİPİRETİK KULLANIMI

Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 42150 Konya
ORCID ID: 0000-0001-8977-9775
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Nursing, Department of Child Health and Disease Nursing, 42150 Konya **ORCID ID:** 0000-0003-3269-445X

ÖZET
Ateş veya pireksi, enfeksiyöz ve enfeksiyöz olmayan nedenlere bağlı olarak beyinde hipotalamustaki termoregülasyon ayar noktasının yükselmesinden kaynaklanan bir durumdur. Farklı etkenler, endojen veya eksojen pirojenlerin (ateş oluşturan maddeler) salımına yol açarak prostaglandin aracılı bir sıcaklık ayar noktası değişikliğini tetikler. Vücut ısısında meydana gelen artma, bazı fizyolojik avantajlar sağlamasına rağmen, olumsuz nörolojik sonuçlara neden olarak çocuk için zararlı da olabilir. Ateş çocuklarda özellikle görülen enfeksiyonlara eşlik eder ve sağlık kuruluşlarına başvurunun en sık nedenlerinden biridir. Ateşin tedavisinde hasta çocuğun rahatsızlığını azaltmak ve ateşin yol açabileceği artan metabolik yükün etkilerini ve hipoksik nörolojik hasar riskini hafifletmek hedeflenir. Antipiretik ilaçlar, klinikte en sık kullanılan ajanlar arasındadır. Vücut ısısını düşürmek amacıyla; asetaminofen (parasetamol), non-steroid anti-inflamatuar ilaçlar (NSAİİ'ler), salisilatlar ve seçici siklooksijenaz-2 (COX-2) inhibitörleri gibi çok sayıda farmakolojik ajanın yanı sıra, ılık kompres ve soğutma battaniyeleri gibi farmakolojik olmayan tedavi yöntemleri mevcuttur. Bu ilaçların hipotalamusta prostaglandin E2 sentezini engellemek suretiyle etki gösterdikleri kabul edilen en olası etki mekanizmasıdır. Kritik durumda olmayan ateşli çocuklarda çeşitli ajanların seçimine dair kesin klinik kılavuzlar sınırlıdır. Burada ateşi düşürmek için mevcut olan çeşitli yöntemler incelenmiş ve bunların güvenlilik ile etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Belirli bir farmakolojik ajanın ve uygulama yolunun seçilmesindeki gerekçeler üzerinde durulmuştur. Ayrıca, antipiretiklerin sağladığı morbidite veya mortalite avantajlarının değerlendirilmesi de dahil olmak üzere, bu ilaçların algılanan yararlı etkileri ile zararlı yan etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu ajanlarla ilişkili çeşitli toksisite türleri de vurgulanmıştır.
Anahtar kelimeler: Antipiretik, çocuk, ateş

USE OF ANTIPYRETICS IN CHILDREN

ABSTRACT
Fever, or pyrexia, is a condition resulting from an elevation of the thermoregulatory set-point in the hypothalamic region of the brain, triggered by infectious or non-infectious causes. Various factors induce the release of endogenous or exogenous pyrogens (fever-inducing substances), thereby triggering a prostaglandin-mediated shift in the temperature set-point. Although the rise in body temperature offers certain physiological advantages, it can also be harmful to the child by causing adverse neurological consequences. Fever frequently accompanies infections in children and is one of the most common reasons for seeking medical attention. The goals of fever management are to alleviate the sick child's discomfort and to mitigate the effects of the increased metabolic load and the risk of hypoxic neurological damage associated with fever. Antipyretic drugs are among the agents most commonly used in clinical

practice. To lower body temperature, a range of pharmacological agents—such as acetaminophen (paracetamol), non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs), salicylates, and selective cyclooxygenase-2 (COX-2) inhibitors—are available, alongside non-pharmacological methods like tepid compresses and cooling blankets. The most widely accepted mechanism of action for these drugs involves the inhibition of prostaglandin E2 synthesis in the hypothalamus. Definitive clinical guidelines regarding the choice of agents for non-critically ill febrile children are limited. This review examines various methods for reducing fever and compares their safety and efficacy, while also discussing the rationale behind the selection of specific pharmacological agents and routes of administration. Furthermore, the perceived beneficial effects of these drugs have been examined in comparison with their harmful side effects, including an assessment of the morbidity or mortality advantages they offer. Various types of toxicity associated with these agents have also been highlighted.
Keywords: Antipyretic, child, fever

1. GİRİŞ

Ateş veya pireksi, çeşitli enfeksiyöz ve enfeksiyöz olmayan nedenlere bağlı olarak hipotalamustaki termoregülasyon ayar noktasının yükselmesinden kaynaklanır. Çeşitli tetikleyici etkenler, nörolojik sistem üzerinde etki ederek prostaglandin aracılı bir sıcaklık ayar noktası değişikliğini tetikleyen endojen veya eksojen pirojenlerin (ateş oluşturan maddeler) salınmasına neden olur (Bartfai and Conti 2010). Vücut ısısındaki artış, stres veya enfeksiyon dönemlerinde, muhtemelen konakçı bağışıklık sistemindeki değişiklikler nedeniyle, sayısız fizyolojik avantaj sağlar (Kluger et al. 1996). Aynı adaptif tepki, vücudun metabolik ihtiyacını, oksijen tüketimini ve dakika ventilasyonunu artırarak ve olumsuz nörolojik sonuçlara yol açarak zararlı da olabilir (Manthous et al. 1995; Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group 2002; Bernard et al. 2002). Ateşi hafifletmek için çeşitli farmakolojik ve farmakolojik olmayan tedavi yöntemleri mevcuttur (Mehmood et al. 2024).

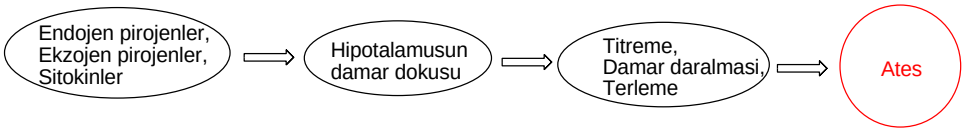
Parasetamol, steroidal olmayan antienflamatuar ilaçlar (NSAİİ'ler) ve siklooksijenaz 2 (COX-2) inhibitörleri gibi ilaçlar ile soğutma battaniyeleri ve suya daldırma gibi fiziksel tedaviler, ateşli hastalarda ateşin düşürülmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Axelrod 2000; Fumagalli et al. 2009).

Çocuklarda ateş, özellikle enfeksiyonlara eşlik eden, sağlık kuruluşlarına başvurunun en sık nedenlerinden biri olan yaygın bir belirtidir (Barbi et al. 2017; Jayashree et al. 2024). Ateş yaygın bir belirti olmasına rağmen, uygun bir ateş düşürücü tedavi planının seçimi, dozajı, uygulama yolu ve ilaç seçimi ile ilgili kanıtlar sınırlıdır (Egi and Morita 2012). Hatta bazı araştırmalar, enfeksiyöz nedenlere bağlı durumlarda ateş düşürücü ilaç kullanımının zararlı sonuçlara yol açtığını öne sürmektedir. Bunun nedeni, ateşin mikropları bastırıcı etkisinin ortadan kalkması olabilir (Henker and Carlson 2007; Eyers et al. 2010). Bu varsayım, normotermi kaynaklı göreceli immünosupresyonun teorik riskiyle desteklenmektedir (Brandts et al. 1997). Ayrıca, ateş düşürücü ilaçlar belirgin hemodinamik yan etkilere de yol açabilir ve böbrek ile karaciğer fonksiyon bozukluklarına katkıda bulunabilir (Polderman 2009; Avellaneda et al. 2000; Boyle et al. 1997). Mevcut ateş düşürücü ilaçların seçici toksik etkileri, belirli hastalarda kullanımlarını sınırlayabilir. Kritik durumdaki olmayan hastalar söz konusu olduğunda, ateşin kontrol altına alınması amacıyla ateş düşürücü ilaçların kullanımına ilişkin veriler sınırlıdır. Belirli bir ilacın seçimi, uygulama yolu veya karşılaştırmalı güvenlik ve etkinlik verilerini belirleyen kesin kılavuzlar ya da öneriler bulunmamaktadır (Mehmood et al. 2024).

Bu bildiride, çocuklarda mevcut çeşitli ateş kontrol yöntemleri ve bunların göreceli güvenlik ve etkinlikleri analiz edilmiştir. Ayrıca, belirli bir ilacın seçilmesinde yol gösterici olabilecek faktörler de incelenmiştir. Son olarak, ateş kontrolünün avantaj ve dezavantajları ile ateş düşürücü ilaçların toksik etkileri değerlendirilmiştir.

2.1. Ateşin Patofizyolojik Temeli

Ateş, hipotalamustaki fizyolojik sıcaklık ayar noktasındaki bir değişikliğin sonucu olarak vücut sıcaklığının yükselmesine yol açan bir uyum tepkisidir (Obermeyer et al. 2017). Bu değişiklik, çok sayıda enflamatuar aracı tarafından lamina terminalisin organum vasculosumunda artan prostaglandin sentezinden kaynaklanmaktadır. Bu aracılardan bazıları, eksojen pirojenlere yanıt olarak kendileri de üretilebilen tümör nekroz faktörü (TNF), interlökin (IL)-6 ve IL-1 gibi sitokinlerdir. Ayrıca, lokal sitokin üretimi ve diğer nörohormonal mekanizmaların hipotalamik ayar noktasındaki değişiklikten sorumlu olabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır (Netea et al. 2000). Ayarlanan değerin değişmesi, vücut ısısını yükselten fizyolojik tepkilere yol açar. Bu tepkiler, diğer birçok koordineli biyolojik süreç gibi, hipotalamusta koordine edilir (Saper and Breder 1994). Ateşin oluşumu ile ilgili temel adımlar aşağıda gösterilmektedir (Şekil 1) (Mehmood et al. 2024).



Şekil 1. Ateşin patofizyolojisi (Mehmood et al. 2024).

Ateşin, mikroorganizmaların çoğalması üzerinde engelleyici bir etkiye sahip olduğu ve endojen immün yanıtı güçlendirdiği gösterilmiştir. Bu güçlenme, hem doğuştan gelen hem de edinsel immün yanıt boyunca gözlemlenmektedir. Nötrofillerin toplanması, salınımı ve aktivitesindeki artış, doğal öldürücü (NK) hücrelerin sitolitik aktivitesinin artması, makrofajların ve dendritik hücrelerin fagositik aktivitesinin uyarılması ve lenfositlerin dolaşımındaki artış, ateşin bağışıklık tepkisini düzenlemesinin bazı yollarıdır (Kluger et al. 1996; Evans et al. 2015). Ateşin yol açtığı bu değişiklikler, hastalığa neden olan enfeksiyon etkeninin kontrol altına alınmasına ve ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Evrimsel açıdan bakıldığında avantajlı gibi görünse de, ateşin insan vücudu üzerinde sayısız zararlı etkisi vardır. Artan metabolik ihtiyaç, artan dakika ventilasyonu ile kardiyovasküler ve nörolojik stresler, ateşin zararlı etkilerinden bazılarıdır (Greisman and Mackowiak 2002; Plaisance and Mackowiak 2000). Her ne kadar yaygın bir durum olsa da, ateşin tedavisi hâlâ tartışmalı bir konudur. Ateş, hem hasta hem de klinisyen için rahatsızlık kaynağı olma eğilimindedir (Mehmood et al. 2024).

2.2. Ateşli Çocuklarda Antipiretik İlaç Seçimi

Ateşin tedavi edilmesi altında yatan terapötik gerekçe, hasta çocuğun rahatsızlığını azaltmak ve ateşin yol açabileceği artan metabolik yükün etkilerini ve hipoksik nörolojik hasar riskini hafifletmektir (Manthous et al. 1995; Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group 2002). Yaygın olarak kullanılan farmakolojik ajanlar arasında asetaminofen ve ibuprofen gibi NSAİİ'ler, salisilatlar ile selekoksib ve rofekoksib gibi yeni nesil COX-2 inhibitörleri yer almaktadır. Çeşitli ateş düşürücü ilaçların ardındaki en olası etki mekanizması, hipotalamustaki prostaglandin E2 sentezinin engellenmesidir (Aronoff and Neilson 2001). Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalar, oral ibuprofenin oral asetaminofenden daha etkili bir ateş düşürücü olduğunu ortaya koymuştur; ancak aradaki fark küçüktür (Autret et al. 1997; Walson et al 1989; Van Esch et al. 1995). Başka bir çalışma da, nimesulid ve ketoprofen gibi diğer NSAİİ'lerin de pediatri hastalarında etkili antienflamatuar ajanlar olduğunu ortaya koymuştur (Facchini et al.

1993). Bu nedenle, çocuklarda ateşin kontrol altına alınması için başlangıçta ağızdan alınan ibuprofen düşünülebilir (Mehmood et al. 2024). Aspirin gibi salisilatlar, çocuklarda Reye sendromunun ortaya çıkmasıyla ilişkilendirilmiştir (Hurwitz et al. 1987). Bu nadir ancak katastrofik çocukluk çağı hastalığı, karaciğerdeki mitokondriyal oksidatif fosforilasyonun engellenmesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan karaciğer yetmezliği ile ensefalopatiden kaynaklanır (Rahwan and Rahwan 1986). NSAİİ'lerin, neredeyse tüm organ sistemlerini etkileyen sayısız yan etkisi vardır (Tablo 1) (Mehmood et al. 2024).

Tablo 1. NSAİİ grubu ilaçların genel yan etkileri

Etkilenen organ sistemi	**Toksisite**
Gastrointestinal sistem	Peptik ülser, özofajit, ince ve kalın bağırsak erozyonları
Renal	Akut böbrek yetmezliği, kronik böbrek yetmezliği, akut interstisyel nefrit, nefrotik sendrom, elektrolit bozuklukları
Kardiyovasküler	Hipertansiyonun kötüleşmesi, anjina ve kalp yetmezliğinin alevlenmesi
Hepatik	Karaciğer yetmezliği
Hematolojik	Trombositopeni, hemolitik anemi, aplastik anemi
Nörolojik	Baş ağrısı, uyuşukluk, zihin bulanıklığı, aseptik menenjit
Solunum sistemi	Burun polipozu, astımın alevlenmesi
Deri	Döküntü

NSAİİ'lerden farklı olarak, asetaminofenin COX enzimlerine karşı etkisi çok azdır ve bu nedenle gastrointestinal ve böbrek toksisitesi minimum düzeydedir (Vane et al. 1998). Bununla birlikte, bu madde N-asetil-*p*-benzokinonimin (NAPQI) olarak bilinen ve potansiyel olarak hepatotoksik bir ara maddeye metabolize olur (Schiødt et al. 1997). Bu nedenle, ateş düşürücü ilacın seçimi, hastanın demografik özelliklerine, önceden var olan tıbbi durumlarına ve eşzamanlı ilaç kullanımına bağlıdır. Sistemik toksisiteyi sınırlamak için, seçilen ateş düşürücü ilacın mümkün olan en kısa süre boyunca ve en düşük etkili dozda uygulanması son derece önemlidir (Mehmood et al. 2024).

3. SONUÇ

Ateşle mücadelede çeşitli farmakolojik ajanlar ve farmakolojik olmayan yöntemler mevcuttur. Çok sayıdaki farmakolojik ajan genellikle kıyaslanabilir etkinlik ve tolerabilite profillerine sahiptir; dolayısıyla ajan seçimi çoğunlukla hasta profiline göre belirlenir. Oral yolla toleransın düşük olduğu veya hızlı rahatlama gerektiren durumlarda, antipiretik ajanların parenteral formülasyonları düşünülmelidir. Antipiretik reçete edilirken hastanın yaşı, eşlik eden hastalıkları, beslenme durumu ve eş zamanlı ilaç kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır. Çeşitli farmakolojik ajanların seçici toksisite profilleri de reçete seçiminde yol gösterici olabilir. Antipiretik uygulamasından anlamlı bir fayda sağlanıp sağlanmadığı hala tartışmalıdır. Çocuğun yaşadığı rahatsızlığın hızla giderilmesi, hem klinisyenler hem de çocuklar için önemli bir tedavi hedefi olabilir. Bu tedavi hedefinin izlenmesinin, göreceli bağışıklık baskılanması ve hastalığın uzaması pahasına gerçekleşip gerçekleşmediği bilinmemektedir. Antipiretik uygulamasının morbidite veya mortalite açısından kayda değer bir fayda sağladığı gösterilmemiştir; hatta bu uygulama, septik çocuklarda yarardan çok zarar verebilir. İnme, vücut ısısı kontrolünün olumlu sonuçlar sağladığının gösterildiği bir alandır. Bu nöroprotektif etkinin kritik durumda olmayan çocuklarda da geçerli olup olmadığı ise daha fazla açıklığa

kavuşturulması gereken bir konudur. Son olarak, hiçbir ilaç advers etkilerden tamamen muaf değildir. Kullanılan antipiretik sınıfına göre etkilenen organlar değişebilse de, tüm antipiretikler ciddi toksisitelere yol açabilir.

Elde edilen bulgular antipiretik ilaçların algılanan yararlı etkilerinin abartılmış olabileceğini ve kullanımlarının aşırı düzeyde olduğunu göstermektedir. Gereksiz ilaç uygulaması yarardan çok zarar veriyor olabilir; kullanımın sınırlandırılması ise sağlık hizmeti maliyetlerini ve komplikasyon riskini azaltabilir. Tüm tıbbi müdahalelerde olduğu gibi, antipiretik kullanımı da riskleri ve yararları göz önünde bulundurularak dikkatlice değerlendirilmelidir. Kritik durumda olmayan ateşli hastalarda müdahalede bulunmamanın kabul edilebilir bir seçenek olup olmadığını belirlemek için daha fazla çalışmaya gereksinim bulunmaktadır.

REFERENCES

Autret E, Reboul-Marty J, Henry-Launois B, Laborde C, Courcier S, Goehrs JM, Languillat G, Launois R. (1997). Evaluation of ibuprofen versus aspirin and paracetamol on efficacy and comfort in children with fever. European Journal of Clinical Pharmacology 51(5), 367-71.

Avellaneda C, Gómez A, Martos F, Rubio M, Sarmiento J, de la Cuesta FS. (2000). The effect of a single intravenous dose of metamizol 2 g, ketorolac 30 mg and propacetamol 1 g on haemodynamic parameters and postoperative pain after heart surgery. European Journal of Anaesthesiology 17, 85–90.

Axelrod P. (2000). External cooling in the management of fever. Clinical Infectious Diseases 31(Suppl. 5), S224–S229.

Barbi E, Marzuillo P, Neri E, Naviglio S, Krauss BS. (2017). Fever in children: Pearls and pitfalls. Children 4(9), 81.

Bartfai T, Conti B. (2010). Fever. ScientificWorldJournal 10, 490–503.

Bernard SA, Gray TW, Buist MD, Jones BM, Silvester W, Gutteridge G, Smith K. (2002). Treatment of comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest with induced hypothermia. New England Journal of Medicine 346, 557–563.

Boyle M, Hundy S, Torda TA. (1997). Paracetamol administration is associated with hypotension in the critically ill. Australian Critical Care 10, 120–122.

Brandts CH, Ndjavé M, Graninger W, Kremsner PG. (1997). Effect of paracetamol on parasite clearance time in Plasmodium falciparum malaria. The Lancet 350, 704–709.

Egi M, Morita K. (2012). Fever in non-neurological critically ill patients: A systematic review of observational studies. Journal of Critical Care 27, 428–433.

Evans SS, Repasky EA, Fisher DT. (2015). Fever and the thermal regulation of immunity: The immune system feels the heat. Nature Reviews Immunology 15, 335–349.

Eyers S, Weatherall M, Shirtcliffe P, Perrin K, Beasley R. (2010). The effect on mortality of antipyretics in the treatment of influenza infection: Systematic review and meta-analysis. Journal of the Royal Society of Medicine 103, 403–411.

Facchini R, Selva G, Peretti G. (1993). Tolerability of nimesulide and ketoprofen in paediatric patients with traumatic or surgical fractures. Drugs 46(Suppl. 1), 238–241.

Fumagalli R, Bellani G, Perri A. (2009). Which drugs for the control of fever in critical patients. Current Drug Targets 10, 881–886.

Greisman LA, Mackowiak PA. (2002). Fever: Beneficial and detrimental effects of antipyretics. Current Opinion in Infectious Diseases 15, 241–245.

Henker R, Carlson KK. (2007). Fever: Applying research to bedside practice. AACN Advanced Critical Care 18, 76–87.

Hurwitz ES, Barrett MJ, Bregman D, Gunn WJ, Pinsky P, Schonberger LB, Drage JS, Kaslow

RA, Burlington DB, Quinnan GV. (1987). Public Health Service study of Reye's syndrome and medications. Report of the main study. JAMA, 257(14), 1905-1911.
Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group. (2002). Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest. New England Journal of Medicine 346(8), 549–556.
Jayashree M, Parameswaran N, Nallasamy K, Chidambaram AC, Rajasegar R, Dhodapkar R, Chhabra M, Gupta N, Kaur H, Velayudhan A, Deol S, Lodha R, Vasanthapuram R, Verghese VP, Rose W. (2024). Approach to fever in children. Indian Journal of Medical Microbiology 50, 100650.
Kluger MJ, Kozak W, Conn CA, Leon LR, Soszynski D. (1996). The adaptive value of fever. Infectious Disease Clinics of North America 10(1), 1–20.
Manthous CA, Hall JB, Olson D, Singh M, Chatila W, Pohlman A, Kushner G, Schmidt GA, Wood LD. (1995). Effect of cooling on oxygen consumption in febrile critically ill patients. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 151(1), 10–14.
Mehmood KT, Al-Baldawi S, Zúñiga Salazar G, Zúñiga D, Balasubramanian S. (2024). Antipyretic use in noncritically ill patients with fever: A review. Cureus 16(1), e51943.
Netea MG, Kullberg BJ, Van der Meer JWM. (2000). Circulating cytokines as mediators of fever. Clinical Infectious Diseases 31(Suppl. 5), S178–S184.
Obermeyer Z, Samra JK, Mullainathan S. (2017). Individual differences in normal body temperature: Longitudinal big data analysis of patient records. BMJ 359, j5468.
Plaisance KI, Mackowiak PA. (2000). Antipyretic therapy: Physiologic rationale, diagnostic implications, and clinical consequences. Archives of Internal Medicine 160, 449–456.
Polderman KH. (2009). Mechanisms of action, physiological effects, and complications of hypothermia. Critical Care Medicine 37, S186–S202.
Rahwan GL, Rahwan RG. (1986). Aspirin and Reye's syndrome: The change in prescribing habits of health professionals. Drug Intelligence & Clinical Pharmacy 20, 143–145.
Schiødt FV, Rochling FA, Casey DL, Lee WM. (1997). Acetaminophen toxicity in an urban county hospital. New England Journal of Medicine 337, 1112–1117.
Van Esch A, Van Steensel-Moll HA, Steyerberg EW, Offringa M, Habbema JD, Derksen-Lubsen G. (1995). Antipyretic efficacy of ibuprofen and acetaminophen in children with febrile seizures. Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine 149, 632–637.
Vane JR, Bakhle YS, Botting RM. (1998). Cyclooxygenases 1 and 2. Annual Review of Pharmacology and Toxicology 38, 97–120.
Walson PD, Galletta G, Braden NJ, Alexander L. (1989). Ibuprofen, acetaminophen, and placebo treatment of febrile children. Clinical Pharmacology and Therapeutics 46, 9–17.

ANTİKANSER AKTİVİTE GÖSTEREN 1,2,4-OKSADİAZOL TÜREVLERİ: 2024–2025 LİTERATÜRÜNE GÜNCEL BİR BAKIŞ

Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 42150 Konya
ORCID ID: 0000-0001-8977-9775
Melike GÜLSEVER
Selçuk University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 42150 Konya **ORCID ID:** 0009-0004-7169-9557

ÖZET
Bir oksijen ve iki azot atomu içeren beş üyeli 1,2,4-oksadiazol halkası, önemli heterosiklik halkalardan biri olup, kendine özgü biyoizosterik özellikleri ve bu halkayı taşıyan türevlerin sahip oldukları oldukça geniş biyolojik aktivite çeşitliliği nedeniyle ilaç keşfi ve geliştirme süreçlerinde önemli bir odak noktası olmaya devam etmektedir. 1,2,4-Oksadiazol, genellikle karbonil grubu içeren amid, ester (hidroksamik esterler vb.) ve karbamat grupları için bir biyoizoster görevi görerek metabolik stabiliteyi ve hedef bağlanma afinitesini artırır. Bu halka, sahip olduğu bu özellikler nedeniyle yeni ilaç geliştirme çalışmaları için mükemmel bir iskelet oluşturmaktadır. 1,2,4-Oksadiazolün keşfinden bu yana geçen bir asırlık sürenin ardından, yapısında bu halkayı taşıyan ve günümüzde halihazırda klinikte kullanılan bazı ilaçlar da mevcuttur. Yapılan araştırmalar 1,2,4-oksadiazol türevlerinin başta antikanser aktivite olmak üzere, antikonvulzan, antiviral, antibakteriyel, antifungal, antidepresan, antiparazitik, antidiyabetik, antienflamatuar ve anti-Alzheimer aktiviteler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bileşikler; özellikle ilaca dirençli patojenlerle mücadelede, metabolik bozuklukların yönetiminde ve nörodejeneratif hastalıklara yönelik potansiyel tedavilerin geliştirilmesinde umut verici sonuçlar sergilemiştir. 1,2,4-Oksadiazol halkası taşıyan türevler üzerinde yapılan çalışmalar, bu bileşiklerin antikanser aktivitelerinin yanı sıra EGFR, BRAF ve HDAC gibi kanser hastalığı ile ilişkili protein, enzim ve yolaklar üzerinde de inhibitör etkinlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu noktadan hareketle, burada son 3 yıl içerisinde antikanser aktivite gösterdiği saptanan 1,2,4-oksadiazol halkası taşıyan türevler ve aktiviteleri hakkındaki çalışmalara odaklanılmıştır.
Anahtar kelimeler: 1,2,4-Oksadiazol, tasarım, sentez, antikanser, EGFR, BRAF, HDAC

1,2,4-OXADIAZOLE DERIVATIVES EXHIBITING ANTICANCER ACTIVITY: A CURRENT REVIEW OF THE LITERATURE FROM 2024–2025

ABSTRACT
The five-membered 1,2,4-oxadiazole ring, containing one oxygen and two nitrogen atoms, is one of the most important heterocyclic rings; it continues to be a key focus in drug discovery and development processes due to its distinctive bioisosteric properties and the wide variety of biological activities exhibited by derivatives containing this ring. 1,2,4-Oxadiazole generally acts as a bioisoster for amide, ester (hydroxamic esters, etc.) and carbamate groups containing a carbonyl group, thereby enhancing metabolic stability and target-binding affinity. Owing to these properties, this ring provides an excellent scaffold for new drug development. A century has passed since the discovery of 1,2,4-oxadiazole, and there are now several drugs containing

this ring in their structure that are currently in clinical use. Research has shown that 1,2,4-oxadiazole derivatives exhibit a range of activities, including, in particular, anti-cancer activity, as well as anticonvulsant, antiviral, antibacterial, antifungal, antidepressant, antiparasitic, antidiabetic, anti-inflammatory and anti-Alzheimer's activities. These compounds have shown promising results, particularly in combating drug-resistant pathogens, managing metabolic disorders and developing potential treatments for neurodegenerative diseases. Studies on derivatives containing a 1,2,4-oxadiazole ring have shown that, in addition to their anticancer activity, these compounds also exhibit inhibitory effects on proteins, enzymes and pathways associated with cancer, such as EGFR, BRAF and HDAC. With this in mind, this review focuses on studies conducted over the past three years concerning 1,2,4-oxadiazole ring-containing derivatives that have been found to exhibit anticancer activity, and their respective activities.
Keywords: 1,2,4-Oxadiazole, design, synthesis, anticancer, EGFR, BRAF, HDAC

1. GİRİŞ

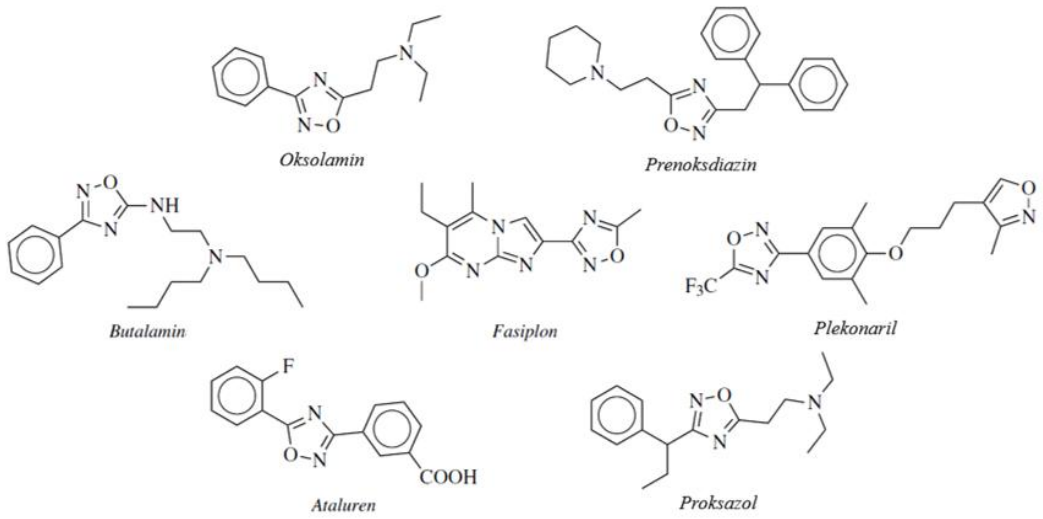
Heterosiklik halka sistemleri, ilaç tasarımında büyük öneme sahiptir. Heterosiklik bileşikler, biyoaktif moleküllerin geliştirilmesi için farklı kimyasal ana yapılar sağlayarak medisinal kimyanın temel taşlarından birini temsil eder. Azot içeren heterosikliklerin önemli bir sınıfı olan 1,2,4-Oksadiazol türevleri, farklı biyolojik aktiviteler göstermeleri nedeniyle son zamanlarda önemli ölçüde ilgi görmüştür. Son kırk yılda yapılan çalışmalar, 1,2,4-Oksadiazol türevlerinin antikanser, antimikrobiyal, antimalaryal, antidiyabetik, antienflamatuar, analjezik, antianjiyojenik, antidepresan, antikonvülsan, anti-Alzheimer ve nöroprotektif dahil olmak üzere birçok aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir (Küçükoğlu et al. 2023; Khasawneh et al. 2025). 1,2,4-Oksadiazol; bir oksijen ve iki azot atomu içeren beş üyeli heterosiklik bir halkadır (Şekil 1) (Biernacki et al. 2020). 1,2,4-Oksadiazol, fizikokimyasal ve farmakokinetik özellikleri düzenleme yeteneği nedeniyle ilaç keşfinde ayrıcalıklı bir yapı olma özelliğine sahiptir. Bu heterosiklik halka, genellikle karbonil grubu içeren amid, ester (hidroksamik esterler vb.) ve karbamat grupları için bir biyoizoster görevi görerek metabolik stabiliteyi ve hedef bağlanma afinitesini artırır (Küçükoğlu et al. 2023, Khasawneh et al. 2025). Daha da önemlisi, 1,2,4-Oksadiazol biyoizosterik eşdeğerliğini yapısına özgü etkileşim (örneğin, hidrojen bağı) olasılığı nedeniyle göstermektedir. Bu heterosiklik halka; amid, ester gibi yapıların kararsızlığı gözlendiğinde (örneğin, hidroliz ortaya çıktığında) özellikle yararlı bir alternatiftir (Biernacki et al. 2020).



1,2,4-Oksadiazol

Şekil 1. 1,2,4-Oksadiazol halkasının yapısı

1,2,4-Oksadiazol, ilk kez 1884 yılında Tiemann ve Krüger tarafından sentezlenmiştir. Bu halkayı taşıyan bileşiklerin biyolojik aktivite çalışmaları 1940'ların başında başlamış ve 20 yıl sonra 1,2,4-oksadiazol halkası içeren ilk ticari ilaç olan oksolamin (Şekil 2) tanımlanmıştır. Bu ilaç, öksürük kesici olarak farmasötik pazara sunulmuştur. 1,2,4-Oksadiazol halkası içeren klinikte kullanılan diğer ilaçlar Şekil 2'de gösterilmektedir (Biernacki et al. 2020).

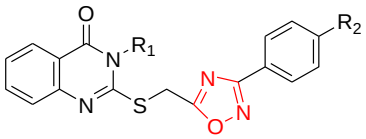


Şekil 2. Klinikte kullanılan 1,2,4-Oksadiazol halkasını taşıyan ilaçlar (Biernacki et al. 2020).

Bu derlemede, 1,2,4-Oksadiazol halkası taşıyan ve antikanser aktivite gösterdiği bildirilen türevlere ilişkin literatür, 2024–2026 döneminde yayımlanan çalışmalar esas alınarak taranmıştır. Belirlenen tarama dönemi içerisinde 2026 yılına ait uygun bir yayına rastlanmadığından, değerlendirmeye alınan çalışmalar 2024 ve 2025 yıllarında yayımlanan araştırmalarla sınırlı kalmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

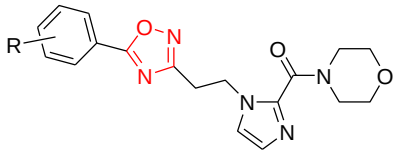
Mohamed ve arkadaşları (2024) güçlü antiproliferatif aktiviteye sahip çok hedefli inhibitörler olarak bir seri 1,2,4-oksadiazol-kinazolin-4-on hibrit bileşiği tasarlamış ve sentezlemişlerdir. En aktif bileşikler **9b**, **9c** ve **9h**, dört kanser hücre hattına karşı sırasıyla 24, 26 ve 30 nM IC_{50} değerlerini vermiştir. Bu bileşikler aynı zamanda EGFR, $BRAF^{V600E}$ ve mutant $EGFR^{T790M}$'yi de güçlü bir biçimde inhibe etmiştir. Bu bileşiklerin en güçlüsü **9b** kodlu bileşik olup (EGFR IC_{50} = 57 nM, $BRAF^{V600E}$ IC_{50} = 48 nM ve $EGFR^{T790M}$ IC_{50} = 10 nM), referans bileşikler erlotinib ve vemurafenibten daha yüksek aktivite göstermiştir. Flow sitometri sonuçları **9b** kodlu bileşiğin A-549 hücrelerinde G_2/M hücre döngüsü duraksamasına ve apoptoza yol açtığını ortaya koymuştur. Araştırmada yürütülen moleküler doking analizleri de bileşiğin EGFR, $EGFR^{T790M}$ ve $BRAF^{V600E}$ ile güçlü bir şekilde bağlandığını doğrulamıştır. Elde edilen sonuçlar, her 3 bileşiğin EGFR, $EGFR^{T790M}$ ve $BRAF^{V600E}$ mutasyonlarıyla ilgili direncin üstesinden gelebilen çok hedefli antikanser ajan potansiyellerini vurgulamaktadır (Mohamed et al. 2024).



Bilesik	R_1	R_2
9b	Fenil	Cl
9c	Fenil	OMe
9h	*m*-Tolil	Cl

Şekil 2. Mohamed ve arkadaşları tarafından sentezlenen antiproliferatif aktivitesi en güçlü bulunan 1,2,4-Oksadiazol türevi bileşikler (Mohamed et al. 2024).

Bir diğer araştırmacı grup tarafından bir seri imidazol-morfolin-1,2,4-oksadiazol hibrit bileşik sentezlenerek MCF-7, MDA-MB-231 ve MDA-MB-468 meme kanser hücre hatlarına karşı *in vitro* antiproliferatif aktiviteleri değerlendirilmiştir. **7b** (Şekil 3) kodlu bileşik çalışmada referans bileşik olarak kullanılan 5-fluorourasilden (5-FU) (IC_{50} = 7.5–12.7 µM) daha iyi bir sonuç vermiş (IC_{50} = 3.7–8.9 µM) ve bu bileşiğin en güçlü aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir. **7e, 7j** ve **7m** kodlu bileşikler (Şekil 3) de MCF-7 hücre hattına karşı güçlü etkinlik göstermiştir (IC_{50} = 7.1–10.2 µM). Ayrıca **7b** kodlu molekülün referans bileşik erlotinib (IC_{50} = 0.43 µM) ile kıyaslandığında güçlü EGFR tirozin kinaz inhibisyonu (IC_{50} = 0.47 µM) aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır. **7j** ve **7m** kodlu bileşikler de 0.81 µM ve 0.72 µM IC_{50} değerleri ile umut verici aktivite değerleri göstermişlerdir. **7b**, **7e**, **7j** ve **7m** bileşiklerinin moleküler doking çalışmaları bu bileşiklerin EGFR ile güçlü etkileşimler oluşturduğunu doğrulamıştır. Bu bileşikler içerisinde en yüksek bağlanma afinitesi gösteren türev **7j**'dir (Bağlanma enerjisi = - 9.67 kcal/mol, inhibisyon sabiti = 81.06 nM). Bu bulgular, **7b**, **7j** ve **7m** bileşiklerinin, ileri geliştirilme potansiyeline sahip, EGFR'yi hedefleyen ve meme kanserine karşı etkili, umut verici ajanlar olduğunu göstermektedir (Kannekanti et al. 2024).

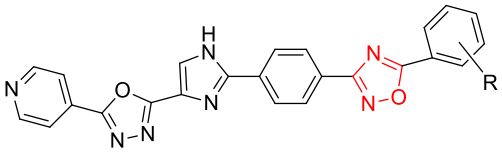


Bilesik	R
7b	3,5-diMe
7e	3,5-diOMe
7j	4-Cl
7m	3,5-diCN

Şekil 3. Kannekanti ve arkadaşları tarafından sentezlenen meme kanseri hücre hatlarına karşı güçlü aktivite ve EGFR inhibitörü aktiviteye sahip imidazol-morfolin-1,2,4-oksadiazol hibrit bileşikler (Kannekanti et al. 2024)

Khedkar ve arkadaşları (2024) bir seri 3-(4-(4-(1,3,4-oksadiazol-2-il)-1*H*-imidazol-2-il)fenil)-1,2,4-oksadiazol türevi sentezleyerek, bu bileşiklerin antikanser ve EGFR inhibitörü özelliklerini araştırmışlardır. **30a, 30b, 30c, 30i** ve **30j** (Şekil 4) kodlu türevler PC3, DU-145, A549 ve HEPG2 kanser hücre hatlarına karşı referans bileşik etopozitten daha güçlü antikanser

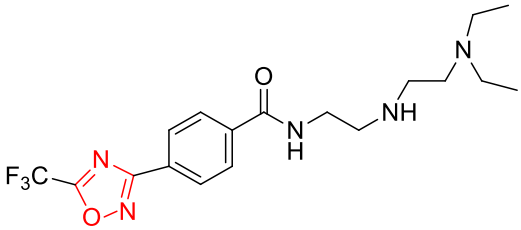
aktivite göstermiştir. Bu araştırmada bileşik **30a,** mükemmel seçicilik ve normal Vero hücrelerine karşı toksisite göstermeksizin sergilediği kayda değer sitotoksisite ile en güçlü bileşik olarak öne çıkmıştır. Bileşiklerin EGFR enzim analizleri, vahşi tip EGFR'nin (EGFRWT) güçlü bir şekilde inhibe edildiğini, mutant formuna karşı ise etkinliğin önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermiştir; bu sonuçlar da bileşiklerin EGFRWT inhibitörü olma potansiyelini pekiştirmiştir. Bu bileşikler kullanılarak HEPG2 hücreleri üzerinde yapılan ileri incelemeler, hücre döngüsünün G_1/G_0 ve G_2 evrelerinde durakladığını ortaya koyarken; western blot analizi, **30a** numaralı bileşiğin EGFR otofosforilasyonunu etkin bir şekilde inhibe ettiğini doğrulamıştır. Bu sonuçlar, söz konusu seriyi, EGFR'yi hedefleyen yeni kuşak antikanser ajanların geliştirilmesi adına güçlü bir temel olarak konumlandırmaktadır (Khedkar et al 2024).



Bilesik	R
30a	3,4,5-triOMe
30b	3,5-diOMe
30c	4-OMe
30i	4-Me
30j	4-diN(CH_3)$_2$

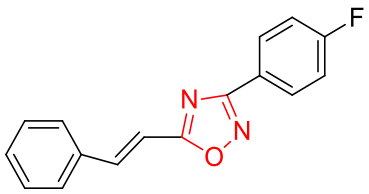
Şekil 4. Khedkar ve arkadaşları tarafından sentezlenen PC3, DU-145, A549 ve HEPG2 kanser hücre hatlarına karşı antikanser ve EGFR inhibitörü aktivitesi yüksek bulunan 3-(4-(4-(1,3,4-oksadiazol-2-il)-1*H*-imidazol-2-il)fenil)-1,2,4-oksadiazol türevi bileşikler (Khedkar et al 2024).

Başka bir çalışmada Asfaha ve arkadaşları (2024) güçlü antikanser aktivite gösteren, yüksek seçiciliğe sahip sınıf IIa histon deasetilaz (HDAC) inhibitörleri olarak bir seri 5-(triflorometil)-1,2,4-oksadiazol (TFMO) temelli amid ve alkoksiamid sentezlemiştir. Aktivitesi en yüksek bileşik olan **1a** (Şekil 5), Sınıf IIa dışındaki HDAC'lere kıyasla olağanüstü bir seçicilikle (seçicilik indeksi >318) güçlü HDAC4 inhibisyonu (IC_{50} = 12 nM) aktivite göstermiştir. Hidroksamat bazlı inhibitörlerin aksine, **1a** numaralı bileşik, şelat oluşturmayan bir çinko bağlayıcı grup olarak bir TFMO grubu kullanmıştır. Bortezomib ile kombinasyon halinde bileşik **1a**, THP-1 lösemi hücrelerinde güçlü bir sinerjistik sitotoksik etki göstererek p21 ekspresyonu ve kaspaz aracılı apoptozu önemli ölçüde artırmıştır. Bu duruma ek olarak bileşik **1a**, özellikle HDAC4'ün aşırı eksprese edildiği hücrelerde olmak üzere, Cal27 baş ve boyun kanseri ksenograft modelinde tümör büyümesini etkili bir şekilde baskılamıştır. Bu bileşiğin kendine özgü mekanizması; kombinasyon tedavisindeki sinerjisi ve *in vivo* etkinliği ile birleştiğinde, bileşiği hedefe yönelik kanser tedavisinde ileri klinik öncesi araştırmalar için güçlü bir aday konumuna getirmektedir (Asfaha et al 2024).



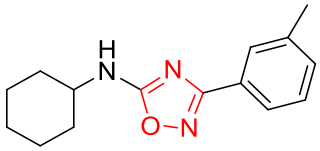
Şekil 5. Asfaha ve arkadaşları tarafından sentezlenen Cal27 baş ve boyun kanseri ksenograft

modelinde tümör büyümesini baskılayan güçlü HDAC4 inhibisyonu gösteren 5-(triflorometil)-1,2,4-oksadiazol (TFMO) temelli amit yapısındaki bileşik (Asfaha et al. 2024). Kumar ve Wadhwa (2024) bir seri 1,2,4-Oksadiazol temelli steroid olmayan türev sentezlemiş ve bunların prostat kanseri tedavisinde androjen reseptör antagonistleri olarak potansiyelini değerlendirmişlerdir. Sentezlenen türevlerden bileşik **SP04** (Şekil 6), 238,13 nM'lik IC_{50} değeri ve PC-3 prostat kanseri hücrelerinde %89,99'luk inhibisyon oranıyla referans bileşik bikalutamiti geride bırakarak en yüksek aktiviteyi gösteren türev olmuştur. Flow sitometri ve reaktif oksijen türü (ROS) analizleri, bileşik **SP04**'ün ROS üretimini önemli ölçüde artırarak apoptoza yol açtığını doğrulamıştır. Ayrıca, androjen reseptörü inhibisyon analizleri, bileşiğin reseptör ekspresyonunu doza bağlı bir şekilde azalttığını göstermiştir. Moleküler doking çalışmaları, bileşik **SP04**'ün -9,5 kcal/mol'lük bir bağlanma afinitesi ile androjen reseptörünün aktif bölgesiyle güçlü etkileşimler kurduğunu ortaya koymuştur. Bileşiğin ADMET analizleri, elverişli farmakokinetik özellikler sergilediğini ve minimal toksisiteye sahip olduğunu göstermiştir. Genel olarak bileşik **SP04**, prostat kanserine karşı güçlü terapötik potansiyele sahip, umut verici, steroid yapıda olmayan bir androjen reseptör antagonisti olarak öne çıkmakta olup, daha ileri araştırma ve geliştirme çalışmalarını hak etmektedir (Kumar and Wadhwa 2024).



Şekil 6. Kumar ve arkadaşları tarafından sentezlenen PC-3 prostat kanseri hücrelerinde yüksek inhibisyon oranına sahip androjen reseptör antagonisti 1,2,4-Oksadiazol türevi bileşik (Kumar and Wadhwa 2024)

Araújo (2025), güçlü antitümör ve immünomodülatör özellikler sergileyen yeni bir bileşiğin (**2**) (Şekil 7) sentezini ve biyolojik aktivite sonuçlarını rapor etmiştir. Bu bileşik, fare melanom B16–F10 hücrelerine karşı 50,99 µM'lik bir IC_{50} değeriyle önemli sitotoksik aktivite sergilerken, kemik iliği kaynaklı makrofajlara (BMDM'ler) karşı 132,7 µM'lik bir IC_{50} değeriyle daha düşük toksisite göstermiş ve bunun sonucunda 2,6'lık bir seçicilik indeksi elde edilmiştir. Flow sitometri analizi, bileşik **2**'nin melanom hücrelerinde birincil hücre ölümü mekanizması olarak nekrozu indüklediğini doğrulamıştır. Buna ek olarak, bileşik **2**, kemik iliği kaynaklı makrofajları agresif, pro-enflamatuvar ve tümörle savaşan M1 fenotipine polarize etmiştir. Bu bulgular, bileşik **2**'nin hem antitümör hem de immünoterapötik nitelikteki dual potansiyelini vurgulamakta ve melanom tedavisi için umut verici bir aday olarak geliştirilmesini desteklemektedir (Araújo et al. 2025).



Şekil 7. Araújo ve arkadaşları tarafından rapor edilen melanoma tedavisinde kullanılma potansiyeline sahip güçlü antitümör ve immünomodülatör aktivite gösteren 1,2,4-Oksadiazol türevi bileşik **2** (Araújo et al. 2025)

3. SONUÇ

1,2,4-Oksadiazol halkası taşıyan birçok bileşiğin tasarım ve sentezi gerçekleştirilerek farklı hastalıklar ile ilgili enzim, protein ve yolak gibi yapılar üzerinde aktiviteleri test edilmiştir. Elde

edilen başarılı sonuçlar bu halka sistemini taşıyan bileşiklerin çeşitli hastalıklar üzerinde terapötik çok yönlülüğünü vurgulamaktadır. Onkoloji alanında, birçok 1,2,4-Oksadiazol türevi submikromolar düzeyde etkinlik sergilemekte; bunlardan bazıları ise EGFR, BRAF, HDAC gibi kanserle ilişkili farklı mekanizmaları hedefleyerek çoklu hedef mekanizmaları aracılığıyla ilaç direncini aşmaktadır. Elde edilen tüm bu bulgular, 1,2,4-Oksadiazol halkasının; özgün mekanizmalara ve güçlü translasyonel potansiyele sahip çok hedefli ajanların tasarlanmasında ayrıcalıklı bir yapı olduğunu ortaya koymaktadır. Süregelen optimizasyon ve yapı-aktivite ilişkisi (SAR) odaklı tasarım çalışmalarının; özellikle onkoloji alanında yeni nesil terapötiklerin geliştirilmesini sağlaması beklenmektedir.

REFERENCES

Araújo HM, de Moura GA, Rocha YM, Pinheiro Gomes CV, Melo de Oliveira VNE, De Oliveira RN, de Figueiredo Nicolete LD, Magalhães EP, De Menezes RRPPB, Nicolete R. (2025). In vitro antitumor and immunomodulatory activities of 1,2,4-oxadiazole derivatives. Biochemistry and Biophysics Reports, 41, 101950.

Asfaha Y, Bollmann LM, Skerhut AJ, Fischer F, Horstick N, Roth D, Wecker M, Mammen C, Smits SHJ, Fluegen G, Kassack MU, Kurz T. (2024). 5- (Trifluoromethyl)-1,2,4-oxadiazole (TFMO)-based highly selective class IIa HDAC inhibitors exhibit synergistic anticancer activity in combination with bortezomib. European Journal of Medicinal Chemistry, 263, 115907.

Biernacki K, Daśko M, Ciupak O, Kubiński K, Rachon J, Demkowicz S. (2020). Novel 1,2,4-oxadiazole derivatives in drug discovery. Pharmaceuticals (Basel), 13(6), 111.

Khasawneh HEN, Alrikabi AAA, AL-Erjan AM, Kadham MJ, Al-Aouadi RFA, Lakshmaiya N,Muhayyo R, Brase S, Farhan HM. (2025). Unveiling the therapeutic potential of 1,2,4-oxadiazole derivatives: An updated review. Results in Chemistry 15, 102271.

Khedkar NR, Sindkhedkar M, Joseph A. (2024). Computational design, synthesis, and assessment of 3-(4-(4-(1,3,4-oxadiazol-2-yl)-1H-imidazol-2-yl) phenyl)-1,2,4-oxadiazole derivatives as effective epidermal growth factor receptor inhibitors: a prospective strategy for anticancer therapy. RSC Medicinal Chemistry, 15, 1626-1639.

Kumar Kannekanti P, Nukala SK, Bandari S, Jyothi M, Manchal R, Thirukovela NS. (2024). Design and synthesis of some new imidazole-morpholine-1,2,4- oxadiazole hybrids as EGFR targeting *in vitro* anti-breast cancer agents. Journal of Molecular Structure, 1310, 138209.

Kumar S, Wadhwa P. (2024). Synthesis, molecular docking and biological evaluation of 1,2,4-oxadiazole based novel non-steroidal derivatives against prostate cancer. Bioorganic Chemistry, 143, 107029.

Küçükoğlu K, Faydalı N, Bul D, Nadaroğlu H, Sever B, Altıntop MD, Öztürk B, Güzel İ. (2023). Synthesis, in silico and in vitro evaluation of new 3,5-disubstituted-1,2,4-oxadiazole derivatives as carbonic anhydrase inhibitors and cytotoxic agents. Journal of Molecular Structure 1276, 134699.

Mohamed AM, Abou-Ghadir OMF, Mostafa YA, Dahlous KA, Bräse S, Youssif BGM. (2024). Design and synthesis of new 1,2,4-oxadiazole/quinazoline-4-one hybrids with antiproliferative activity as multitargeted inhibitors. Frontiers in Chemistry, 12, 1447618.

PEDİATRİK PALYATİF BAKIMDA FARMAKOLOJİK VE NONFARMAKOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Nursing, Department of Child Health and Disease Nursing, 42150 Konya
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X
Prof. Dr. Kaan KÜÇÜKOĞLU
Selçuk University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 42150 Konya
ORCID ID: 0000-0001-8977-9775

Özet
Pediatrik palyatif bakımda ağrı yönetimi, yaşamı tehdit eden veya sınırlayan hastalığı bulunan çocukların konforunu ve yaşam kalitesini artırmayı amaçlayan, bireyselleştirilmiş ve aile merkezli bir süreçtir. Ağrının fiziksel, psikolojik, sosyal ve manevi boyutları birlikte değerlendirilmelidir. Değerlendirmede çocuğun kendi bildirimi önceliklidir; kendini ifade edemeyen çocuklarda gelişim düzeyine uygun davranışsal ölçekler ve ebeveyn gözlemlerinden yararlanılmalıdır. Ağrının mekanizması, şiddeti ve günlük yaşam üzerindeki etkileri belirlenerek tedavi sonrasında düzenli yeniden değerlendirme yapılmalıdır.
Farmakolojik tedavi, çocuğun yaşı, ağırlığı, organ işlevleri ve klinik gereksinimleri doğrultusunda planlanır. Nonopioid analjezikler, opioidler ve yardımcı ilaçlar ağrının özelliklerine göre seçilir. Süreğen ağrıda düzenli tedaviye ek olarak kaçak ağrı yönetimi planlanmalıdır. Opioid kullanımında sedasyon, solunum baskılanması, bulantı ve kabızlık izlenmeli; doz düzenlemeleri ve tedavinin sonlandırılması bireyselleştirilmelidir. Hasta kontrollü ve hemşire kontrollü analjezi ile taşınabilir programlanabilir pompalar, uygun değerlendirme ve güvenlik protokolleri kapsamında kullanılabilir.
Nonfarmakolojik yöntemler, farmakolojik tedaviyi tamamlayarak rahatlama ve baş etme becerilerini destekler. Pozisyon verme, masaj, dikkat dağıtma, gevşeme, müzik, sanat ve oyun terapileri çocuğun tercihleri ve gelişimsel özelliklerine göre uygulanabilir. Psikolojik ve manevi destek, korku ve belirsizlikle baş etmeye katkı sağlar. Bu yöntemlerin pediatrik palyatif bakıma özgü kanıt düzeyleri değişken olduğundan etkileri bireysel olarak değerlendirilmelidir. Teknolojik uygulamalar, evde belirti izlemini ve aile ile sağlık ekibi arasındaki iletişimi destekleyebilir.
Hemşireler, ağrının erken tanınması, tedavi yanıtının izlenmesi, çocuk adına savunuculuk ve aile eğitiminde temel rol üstlenir. Evde bakımda yazılı ağrı yönetim planı, güvenli ilaç kullanımı ve ulaşılabilir profesyonel destek bakımın sürekliliğini güçlendirir. Başarı, ağrının azalmasıyla birlikte çocuğun işlevselliğinin, konforunun ve ailenin bakım kapasitesinin korunmasıyla değerlendirilir. Etkili bakım, multidisipliner iş birliğini ve çocuk ile ailenin kararlara aktif katılımını gerektirir.
Anahtar Kelime: Pediatrik palyatif bakım, farmakolojik tedavi, nonfarmakolojik yaklaşımlar

PHARMACOLOGICAL AND NON-PHARMACOLOGICAL APPROACHES IN PEDIATRIC PALLIATIVE CARE

Abstract
Pain management in pediatric palliative care is an individualized and family-centered process aimed at enhancing the comfort and quality of life of children with life-threatening or life-

limiting illnesses. The physical, psychological, social, and spiritual dimensions of pain must be evaluated holistically. The child's self-report takes precedence in assessment; for children unable to express themselves, behavioral scales appropriate to their developmental level and parental observations should be utilized. Treatment should involve determining the mechanism, severity, and impact of pain on daily life, followed by regular reassessment.
Pharmacological treatment is planned based on the child's age, weight, organ function, and clinical needs. Non-opioid analgesics, opioids, and adjuvant medications are selected according to the characteristics of the pain. For chronic pain, a plan for managing breakthrough pain must be established alongside the regular treatment regimen. When using opioids, monitoring for sedation, respiratory depression, nausea, and constipation is essential, and decisions regarding dose adjustments and treatment discontinuation must be individualized. Patient-controlled and nurse-controlled analgesia, as well as portable programmable pumps, may be used within the framework of appropriate assessment and safety protocols.
Non-pharmacological methods complement pharmacological treatment by promoting relief and coping skills. Techniques such as positioning, massage, distraction, relaxation, music, art, and play therapies can be implemented based on the child's preferences and developmental characteristics. Psychological and spiritual support helps the child cope with fear and uncertainty. As the level of evidence for these methods specific to pediatric palliative care varies, their effects should be evaluated on an individual basis. Technological applications can support symptom monitoring at home and communication between the family and the healthcare team.
Nurses play a key role in the early recognition of pain, monitoring the response to treatment, advocating for the child, and educating the family. In home care, a written pain management plan, safe medication use, and accessible professional support strengthen the continuity of care. Success is measured by the reduction of pain alongside the preservation of the child's functionality and comfort, as well as the family's caregiving capacity. Effective care requires multidisciplinary collaboration and the active participation of the child and family in decision-making.
Keywords: Pediatric palliative care, pharmacological treatment, non-pharmacological approaches

Introduction

Pain management in pediatric palliative care aims to preserve the comfort and quality of life of a child with a life-threatening or life-limiting illness. Care can be provided alongside disease-directed treatments from the time of diagnosis and is tailored to the child's developmental needs. In addition to cancer, severe neurological, genetic, and metabolic diseases may also create a need for palliative care. The World Health Organization (WHO) recommends addressing the physical, psychosocial, and spiritual needs of the child and family holistically within healthcare services. (WHO 2018).

While pain is a symptom manifesting in the child's body, it is also an experience shaped by fear, uncertainty, disruptions in social relationships, and family distress. Factors such as separation from play and school life due to hospitalizations, repetitive procedures, and parental anxiety can influence care goals. Therefore, the success of pain management should be evaluated not only by changes in pain scores but also by the child's ability to rest, communicate, and participate in desired activities (WHO 2020).

Source and Assessment of Pain

Determining the mechanism of pain facilitates the choice of treatment. Nociceptive pain is associated with tissue damage or inflammation and may present with somatic or visceral characteristics. Neuropathic pain arises from a lesion or disease affecting the somatosensory system and may manifest with symptoms such as burning, electric shock-like sensations, or pain upon touch. Multiple mechanisms may coexist in the same child. Particularly in children with severe neurological impairment, conditions such as reflux, constipation, spasticity, hip problems, and central neuropathic pain should be investigated concurrently. Attributing unexplained irritability solely to the natural course of the neurological condition may lead to overlooking treatable pain (Hauer et al. 2017).

The assessment involves inquiring about the location, nature, duration, and intensity of the pain, as well as factors that exacerbate or alleviate it. If the child is able to communicate, their self-report takes precedence. For children unable to communicate, behavioral assessment tools appropriate for their developmental stage and clinical condition should be used. Tools such as FLACC, revised FLACC, or EVENDOL cannot be applied in the same manner to every child; the target age group and the intended purpose of the scale must be taken into account. Parental descriptions of changes in the child's specific facial expressions, crying, movements, and consolability provide valuable information. Normal vital signs do not rule out the presence of pain. Re-assessment using the same method following every intervention forms the basis for monitoring efficacy and side effects (Trottier et al. 2022).

Pharmacological Treatment

The pharmacological approach is individualized based on the severity and mechanism of the pain. Appropriate non-opioid analgesics may be considered for mild pain. Morphine may be used under the supervision of trained healthcare professionals for chronic pain associated with a life-limiting illness or in end-of-life care. The WHO offers these recommendations conditionally, as the certainty of the pediatric evidence is very low. Treatment decisions must take into account the expected benefits, potential harms, and the goals of the child and family. Rather than mechanically following the analgesic ladder, treatment should be selected according to the child's specific needs, with physical and psychological support provided concurrently (WHO 2020).

Age, weight, renal and hepatic function, prior opioid use, and concomitant medications are evaluated when selecting the drug and route of administration. The oral route is preferred whenever possible; however, difficulty swallowing or other clinical requirements may necessitate alternative routes. In addition to the regular treatment regimen for chronic pain, a plan for managing breakthrough pain must be established. Gabapentinoids or selected tricyclic antidepressants may be considered for neuropathic pain; corticosteroids for edema and tumor compression; and ketamine—under specialist supervision—for refractory cases. Benzodiazepines and neuroleptics are not direct analgesics; they are used to address accompanying anxiety, agitation, or other appropriate symptoms. Pharmacological drug administration in pediatric palliative care, categorized by age group, is presented in Table 1. (Association for Paediatric Palliative Medicine [APPM], 2024, Sağlık Bakanlığı, Çocuk Palyatif Bakım Klinik Rehberi, 2026).

Opioid safety requires monitoring for effects such as sedation, respiratory depression, nausea, and constipation while ensuring adequate analgesia. A preventive approach to constipation should be planned, and closer assessment is necessary when opioids are used concomitantly with sedative medications. Dosage adjustments are implemented gradually, and the response is

documented. In children who have developed physical dependence, a tapering plan must be individualized, as abrupt discontinuation of the medication can lead to withdrawal. Safe storage of medications at home and accurate administration of doses are components of family education (APPM 2024).

Table 1. Pharmacological pain management in pediatric palliative care by age group

Age Group	Mild Pain	Moderate Pain	Severe Pain	Neuropathic Pain
Neonate	Paracetamol	Paracetamol ± opioid	Morphine	Expert opinion required
2 months–2 years	Paracetamol, ibuprofen*	Low-dose morphine	Morphine, fentanyl	Gabapentin in selected cases
2–12 years	Paracetamol, NSAID*	Morphine	Morphine, hydromorphone, fentanyl	Gabapentin, amitriptyline
≥12 years	Paracetamol, NSAID	Morphine	Morphine, oxycodone, fentanyl, hydromorphone	Gabapentin, pregabalin, amitriptyline

* The use of ibuprofen and other non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) should be evaluated based on age and clinical condition.

Controlled Analgesia and Portable Pumps

In patient-controlled analgesia (PCA), the child activates a pre-programmed bolus dose by pressing a button when experiencing pain. When assessing suitability, the ability to understand the method, grasp the relationship between pain and requesting a dose, and operate the device is more important than age. In nurse-controlled analgesia (NCA), an authorized nurse administers the bolus based on assessment and protocols. A CADD (computerized ambulatory delivery device) is a portable, programmable pump that delivers medication; it can be used for either PCA or NCA administration. In these systems, lockout intervals, dose limits, and monitoring plans support safety. A scoping review by Hanna et al. (2026) highlights the lack of standard policies regarding PCA use at the end of life and notes that existing evidence primarily relates to children with malignant diseases. Nurses play a key role in developing safe administration policies (Hanna et al. 2026; Smith et al. 2022).

Non-pharmacological Methods

Non-pharmacological methods are complementary practices that support the child's comfort and participation in the care process. Techniques such as appropriate positioning, gentle touch, relaxation, distraction, and developmentally appropriate play may be selected based on clinical needs. Psychological methods help the child cope with fear and the loss of control. The approach should be tailored to the child's preferences, sensory characteristics, and tolerance. As the evidence base for the efficacy of each method varies, the care team should evaluate the child's response—in terms of comfort and functionality—following the chosen intervention (Smith et al. 2022). These methods are used alongside pharmacological treatments to manage pain and other symptoms, taking into account the child's age, developmental level, preferences, and clinical condition. Table 2 presents the non-pharmacological methods used in pediatric palliative care.

Music therapy is an approach that can help a child express their emotions and build a relationship with their family. A systematic review and qualitative evidence synthesis by Kammin et al. (2024) highlight the importance of the therapeutic relationship, the therapist's interpersonal skills, and experience in pediatric palliative care. The study's findings describe the experiences of children and their families; they should not be interpreted as a quantitative estimate of effect regarding a specific degree of pain reduction. There is a need for research that

better reflects the child's own experience. In music, play, and art interventions, the goal is to personalize care through an activity that the child finds meaningful (Kammin et al. 2024).

Table 2. Non-pharmacological methods used in pediatric palliative care

Method	Application example	Purpose of use
Positioning	Supportive pillows and appropriate position changes	Alleviating muscle tension and discomfort
Massage and soothing touch	Gentle massage, soothing touch from the parent	Promoting relaxation and comfort
Hot–cold application	Controlled application to the appropriate area	Relieving local pain
Distraction	Story, toy, video	Reducing focus on pain
Relaxation and guided imagery	Muscle relaxation, visualizing relaxing scenes	Supporting the management of anxiety and tension
Psychological therapies	Cognitive behavioral therapy, acceptance and commitment therapy	Developing coping skills
Hypnosis and hypnotherapy	Focused attention guided by a trained professional	Supporting the management of discomfort and stress
Music therapy	Making or listening to music with a therapist	Supporting emotional expression, connection, and well-being
Art therapy	Painting and creative activities	Facilitating the expression of emotions
Play therapy	Developmentally appropriate therapeutic play	Supporting the process of making sense of the illness experience
Spiritual support	Practices preferred by the child and family	Meeting the need for meaning and peace
Other complementary methods	Virtual reality, animal-assisted therapy, aromatherapy, acupressure	Individualized symptom support; evidence is variable

Technology can support symptom monitoring at home and communication between the care team and the family. The "Jana" social robot, developed by Eurecat and Hospital Sant Joan de Déu, enables remote monitoring and communication *via* a tablet linked to a medical application. A 2024 statement from the institution reported that ten robots were deployed to the homes of pediatric palliative care patients with severe neurological conditions, and that usability and satisfaction were evaluated during a six-month pilot study. This example should be viewed not as a treatment with proven efficacy for pain, but rather as an application being investigated to support the continuity of care (Eurecat 2024).

The Role of the Nurse and the Continuity of Home Care

The nurse assumes a key role in the early recognition of pain, the assessment of treatment response, and the communication of the child's and family's needs to the healthcare team.

Communication barriers, fears regarding opioid use, and a lack of education and resources can hinder adequate treatment. The nurse's advocacy role entails paying attention to behavioral changes in children unable to verbalize their pain and ensuring the reassessment of unresolved pain. Standardized assessment tools, interdisciplinary communication, and shared decision-making with the family strengthen this process (Hauer et al. 2017; Trottier et al. 2022).

The family must be provided with a written and actionable pain management plan for home care. Details regarding medication timing, actions to take for breakthrough pain, potential side effects, and situations requiring assistance must be clearly explained. Continuity of care relies on coordination between hospital and home-based teams, as well as accessible support. Success should be evaluated by monitoring both the child's comfort and the family's capacity to sustain the care process. Evidence-based pediatric palliative pain management is a care responsibility that integrates safe treatment with the child's daily life and the family's needs (Smith et al. 2022; WHO 2018).

Conclusion

In conclusion, effective pain management in pediatric palliative care requires the integration of pharmacological and non-pharmacological approaches tailored to the child's individual needs. Regular pain assessment, safe treatment practices, and the family's active participation in the care process are fundamental elements in maintaining the child's comfort and quality of life. Multidisciplinary care, supported by the nurse's roles in advocacy, monitoring, and education, strengthens the continuity of pain management throughout the transition from hospital to home.

REFERENCES

Association for Paediatric Palliative Medicine. (2024). The Association for Paediatric Palliative Medicine formulary (6th ed.). Accessed October 13, 2026 https://www.appm.org.uk/_webedit/uploaded-files/All%20Files/Formulary/Formulary%202024/APPM%20formulary%206th%20edition%202024%20Final%202023-10-26.pdf

Eurecat. (2024). Eurecat and Hospital Sant Joan de Déu design social robot to help children and teenagers with palliative needs at home. Accessed October 13, 2026 https://catalonia.health/news/eurecat-and-sjd-barcelona-childrens-hospital-design-a-social-robot-to-help-children-and-adolescents-with-palliative-needs-at-home/

Hanna R, Hasson F, Beck E, Keeney S. (2026). The use of patient-controlled analgesia for children requiring symptom management at end of life: a scoping review. Pain Management Nursing 27(3), 270-287.

Hauer J, Houtrow AJ. (2017). Section on hospice and palliative medicine, council on children with disabilities. Pain assessment and treatment in children with significant impairment of the central nervous system. Pediatrics 139(6), e20171002.

Kammin V, Fraser L, Flemming K, Hackett J. (2024). Experiences of music therapy in paediatric palliative care from multiple stakeholder perspectives: A systematic review and qualitative evidence synthesis. Palliative Medicine 38(3), 364-378.

Sağlık Bakanlığı, Çocuk Palyatif Bakım Klinik Rehberi, 2026, Accessed October 13, 2026 https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/55391/0/cocuk-palyatif-bakim-klinik-rehberi-2026.pdf?_tag1=CD182BEC6D3CD6721951C74B142D4142395F5BD6

Smith HAB, Besunder JB, Betters KA, Johnson PN, Srinivasan V, Stormorken A, Farrington E, Golianu B, Godshall AJ, Acinelli L, Almgren C, Bailey CH, Boyd JM, Cisco MJ, Damian M, deAlmeida ML, Fehr J, Fenton KE, Gilliland F, Grant MJC, Howell J, Ruggles CA, Simone S, Su F, Sullivan JE, Tegtmeyer K, Traube C, Williams S, Berkenbosch JW. (2022). 2022 Society of critical care medicine clinical practice guidelines on prevention and management of pain, agitation, neuromuscular blockade, and delirium in critically ıll pediatric patients with consideration of the ICU environment and early mobility. Pediatric Critical Care Medicine 23(2), e74-e110.

Trottier ED, Ali S, Doré-Bergeron MJ, Chauvin-Kimoff L. (2022). Best practices in pain assessment and management for children. Paediatrics & Child Health 27(7), 429-448.

World Health Organization. (2018). Integrating palliative care and symptom relief into paediatrics: A WHO guide for health-care planners, implementers and managers. Accessed October 13, 2026 https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/857809a8-453d-43e6-b0fe-1f22d73a608c/content

World Health Organization. (2020). Guidelines on the management of chronic pain in children. Accessed October 13, 2026 https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/fca81e62-b0c1-4eca-b8f8-0bd5ad94a2d5/content

ÇOCUK ACİL SERVİSİNE YÜKSEK ATEŞ İLE BAŞVURAN ÇOCUKLARIN EBEVEYNLERİNİN ATEŞ YÖNETİMİ YAKLAŞIMLARININ BELİRLENMESİ

Tuba PEKŞEN
Selçuk Üniversitesi , Sağlık Bilimleri Enstitüsü,Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Yüksek Lisans Programı, 42150Konya
ORCID ID: 0009-0005-0374-371X
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği AD. 42150Konya
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X

ÖZET
Amaç: Bu çalışma, yüksek ateş ile çocuk acile başvuran çocukların ebeveynlerinin ateş yönetimi yaklaşımlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.
Yöntem: Bu çalışma kesitsel ve tanımlayıcı tipte olup araştırmanın evrenini Türkiye'deki bir eğitim araştırma hastanesinin aciline yüksek ateş ile başvuran çocukların ebeveynleri oluşturmuştur.Çalışma Türkiye/Karaman şehrinde sahada Ocak 2026- Mayıs 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür. Çalışmaya katılmaya gönüllü olan ve yüz yüze anketleri eksiksiz olarak dolduran 200 ebeveyn ile çalışma tamamlanmıştır. Verilerin toplanmasında "Tanıtıcı Bilgi Formu" ve "Ebeveyn Ateş Yönetim Ölçeği(EAYÖ)" kullanılmıştır. Veriler yüz yüze olarak anket aracılığı ile toplanmıştır. Çalışmanın her aşamasında etik ilkelere uyulmuştur.
Bulgular: Bu araştırmada "birlikte yaşama", "çocuk yaş" ve "ateş düşürücü verme"nin ebeveyn ateş yönetim düzeyini anlamlı şekilde etkilediği belirlenmiştir ($p<0.05$). Birlikte yaşama durumu ebeveyn ateş yönetimi puanını pozitif yönde etkilemekte olup ($\beta=0.201$, $B=1.444$, $p=0.039$), birlikte yaşayan ebeveynlerin ateş yönetimi puanlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Çocuk yaşı ebeveyn ateş yönetimi puanı ile negatif yönde ilişkili bulunmuş ($\beta=-0.424$, $B=-1.313$, $p=0.001$) ve çocuk yaşı arttıkça ateş yönetimi puanının azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde ateş düşürücü verme değişkeni de ateş yönetimi puanını negatif yönde etkilemektedir ($\beta=-0.291$, $B=-1.723$, $p=0.002$).
Sonuç: Araştırmada ebeveynlerin sosyo-demografik özeliklerinin ateş yönetimi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ebeveynlerin çocukluk çağı ateşine ilişkin bilgi ve becerilerinin geliştirilmesine yönelik eğitim programlarının yaygınlaştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Çocuk, Ateş, Ebeveyn, Acil

DETERMINATION OF FEVER MANAGEMENT APPROACHES AMONG PARENTS OF CHILDREN ADMITTED TO THE PEDIATRIC EMERGENCY DEPARTMENT WITH HIGH FEVER

ABSTRACT
Aim: This study was conducted to determine the fever management approaches of parents of children admitted to the pediatric emergency department with high fever.
Method: This cross-sectional and descriptive study included parents of children admitted to the emergency department of a training and research hospital in Türkiye with high fever as the study population. The study was conducted in the field in Karaman, Türkiye, between January 2026 and May 2026. The study was completed with 200 parents who voluntarily agreed to participate and fully completed the face-to-face questionnaires. The "Descriptive Information

Form" and the "Parent Fever Management Scale (PFMS)" were used for data collection. Data were collected through face-to-face questionnaires. Ethical principles were followed at every stage of the study.

Results: In this study, cohabitation status, child age, and administration of antipyretics were found to significantly affect parental fever management levels ($p<0.05$). Cohabitation status positively affected parental fever management scores ($\beta=0.201$, $B=1.444$, $p=0.039$), indicating that parents living together had higher fever management scores. Child age was found to be negatively associated with parental fever management scores ($\beta=-0.424$, $B=-1.313$, $p=0.001$), suggesting that fever management scores decreased as the child's age increased. Similarly, the administration of antipyretics negatively affected fever management scores ($\beta=-0.291$, $B=-1.723$, $p=0.002$).

Conclusion: The study determined that parents' socio-demographic characteristics had an effect on fever management. It is considered important to expand educational programs aimed at improving parents' knowledge and skills regarding childhood fever management.

Keywords: Child, Fever, Parent, Emergency

GİRİŞ

Ateş, vücuttaki ölçüm yerine göre değişiklik göstermekle beraber vücut sıcaklığının normal günlük değerinin üzerinde yükselmesi olarak tanımlanabilir (Fields ve ark. 2013, Çelik ve ark. 2024). Ateş aslında bir hastalık değil, aksine enfeksiyonla mücadelede yararlı etkileri olan fizyolojik bir mekanizma süreci olarak kaynaklarda yer almıştır (Sullivian ve Farrar, 2011). Ateş genellikle sağlıklı bir tepki olarak kabul edilse de tedavi edilmezse nöbetler, dehidratasyon, beyin hasarı ve nadir durumlarda ölüm gibi komplikasyonlara neden olabilir (Assimamaw ve ark. 2024). Ancak ateşlerin çoğunluğu kısa sürelidir, iyi huyludur ve çoğu zaman aslında çocuğu koruyan fizyolojik bir yanıttır (Crocetti M. ve ark. 2001). Çocuklarda yüksek ateş, çocuk doktorları ve diğer sağlık profesyonelleri tarafından yönetilen en yaygın klinik semptomlardan biri olmuştur ve tahminlere göre çocuklarda görülen tüm rahatsızlıkların yaklaşık olarak üçte birini oluşturmaktadır (Crocetti M. ve ark. 2001). Yapılan araştırmalarda dünyada acil ünitelerine başvuran ateşli çocuk oranının yaklaşık % 20-30 arasında olduğu, ülkemizde ise bu oranın % 71'e kadar yükseldiği belirlenmiştir (Demir ve Bayat, 2006).

Ebeveynler ise sıklıkla, hasta olan çocuklarında ateş yüksekliği durumunda "normal" vücut sıcaklığını korumak konusunda endişelenirler (Bilenko N. ve ark. 2006). Ebeveynlerin endişeleri kısmen ateşin bir hastalık belirtisi veya işareti olmasından çok bir hastalık olduğuna olan inançlarından kaynaklanır. Bu nedenle ateş, ebeveynlerin çocukları için tıbbi yardım arama gereksinimi duymasının en yaygın nedenlerinden biri olmuştur (Crocetti M. ve ark. 2001).

Ebeveynler, özellikle ateş ile birlikte çocuklarında meydana gelebilecek komplikasyonlardan dolayı korku ve endişe yaşamaktadırlar. Çocukluk çağı hastalıklarının yaygın bir kısmı ateşle birlikte görülürken; bunların birçoğu da yakındaki bir sağlık kuruluşuna gitmeden önce belirli yaklaşımlarla ebeveynler tarafından evde yönetilmeye çalışılır (Assimamaw ve ark. 2024). Ancak ebeveynlerin yaşadığı korku ve endişe paniğe hatta bazen de ebeveynlerin çocuklarına gereksiz ilaç vermesine ya da ateşi düşürmek için bir çok zararlı geleneksel uygulama yapmasına (sirkeli su, kolonya ile ovma, üstünü örtme ve terletme vb) neden olabilmektedir (Akbayram, 2021; Hussain ve ark., 2020).

Tüm bunlar sonucunda, bilgi eksikliği ve yanlış anlaşılmalardan kaynaklı olarak ebeveynler, doğru bilgi ve yaklaşımlarla kontrol edebilecekleri ateş için gereksiz yere hastaneye başvurma davranışları gösterebilirler. Ayrıca ateş, acil birimlere ebeveynler tarafından çocukların en fazla getirilme nedenleri arasındadır. Bu nedenle ateş ve ateş yönetimi konusunda aileye doğru

bilgilendirmenin yapılabilmesi için güncel çalışmalarla ebeveynlerin ateş düşürme konusundaki bilgi eksiklikleri ve evde ateş yönetimine yönelik yapılan geleneksel uygulamaların neler olduğunun tespit edilmesi önemlidir (Wilson ve ark., 2019).

Farklı kültürler ateşle ilgili bilgi düzeyleri ve genel olarak ebeveynlerin ateş bakımı konusunda oldukça farklılık gösterebilmektedir (Assimamaw ve ark. 2024).Literatür incelendiğinde ise ebeveynlerin çocuklarında ateş yönetimi konusundaki yaptıkları uygulamalar ve bilgi düzeylerini inceleyen çalışmalar olmakla birlikte (Odabaşoğlu ve ark., 2024; Akbayram, 2021;Wilson ve ark., 2019) kültürel yapının bu uygulamalar üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca ebeveynlerin akılcı ilaç kullanım durumunun da ateş yönetiminde önemli bir değişken olduğu vurgulanmaktadır (Akbaş, 2025). Özellikle 0-12 yaş çocukluk çağı enfeksiyonlarında ve çeşitli kronik hastalıklarda ciddi morbidite ve mortaliteyi azaltmada akılcı ilaç kullanımı büyük bir rol oynamaktadır (Demirtaş vd., 2018).

Literatür incelendiğinde bu konuda yapılan çalışmaların hala sınırlı kaldığı söylenebilir. Bu bağlamda, çocuk acil servisine yüksek ateş ile başvuran çocukların ebeveynlerinin ateş yönetimi yaklaşımlarının ve akılcı ilaç kullanım durumlarının belirlenmesi; hem gereksiz acil başvuruların azaltılması hem de çocuk sağlığının korunması açısından önem taşımaktadır. Elde edilecek bulguların, ebeveynlere yönelik eğitim programlarının planlanmasına, sağlık profesyonellerinin ailelere vereceği danışmanlık hizmetlerinin güçlendirilmesine ve ateş yönetimi konusunda kanıta dayalı müdahalelerin geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma, kültürel farklılıkların ateş yönetimi ve ilaç kullanım davranışları üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, çocuk acil servislerinde daha etkin ve bütüncül bir bakım yaklaşımının geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

YÖNTEM

Araştırmanın Türü: Çalışma kesitsel ve tanımlayıcı araştırma olarak planlanmıştır.

Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman: Çalışma Türkiye/Karaman şehrinde sahada Ocak 2026- Mayıs 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür.

Araştırmanın Evren-Örneklemi: Araştırma ilgili birime Ocak 2026- Mayıs 2026 tarihleri arasında ateş nedeniyle başvuran 0-18 yaş grubu çocuğu olan ebeveynler oluşturmuştur. Çalışmanın örneklem büyüklüğü Fransa'da ebeveynlerin çocuklarda ateş yönetimi bilgi ve uygulamalarını değerlendiren ulusal çaplı Bertille ve ark. (2013) çalışmasında, ebeveynlerin ateş yönetimi davranışları arasında orta düzeyde ilişkiler (örneğin OR ≈ 2.0) gözlenmiştir. Bertille ve ark. çalışmasında toplam 6,596 olgu değerlendirilmiş olup orta büyüklükteki ilişkiyi test edip tespit etmek için kullanılan örneklem boyutu, α=0.05 düzeyinde istatistiksel gücü >0.99'dur. Hesaplama sonucunda,α = 0.05**,** OR = 2.0 (orta etki büyüklüğü) **ve** %80 istatistiksel güç (β = 0.20)hedeflenerek yapılan lojistik regresyon temelli güç analizine göre,toplam en az 200 ebeveyninçalışmaya alınması gerektiği hesaplanmıştır.

Araştırmaya, çocuğunun yüksek ateş şikâyeti nedeniyle çocuk acil servisine başvuran ve çalışmaya katılmaya gönüllü olan ebeveynler dahil edilecektir. Çocuğunun yüksek ateş dışında başka bir şikâyet nedeniyle çocuk acil servisine başvuran ve çocuğunda kronik hastalık bulunan ebeveynler ise araştırma kapsamı dışında tutulacaktır.

Veri Toplama Araçları : Bu çalışmada veri toplamak için "Tanıtıcı Bilgi Formu" ve "Ebeveyn Ateş Yönetim Ölçeği"kullanılmıştır.

Tanıtıcı Bilgi Formu: Form araştırmacılar tarafından literatür doğrultusunda (Çiftçi EK, Beklen S. 2014 ve Ulaş Karaahmetoğlu, G. Ve ark. 2015) iki bölümde hazırlanmıştır. İlk bölümünde anne ve çocuğa ait demografik özellikleri (Anne için: yaş, çocuk sayısı, eşle birlikte yaşama durumu, eğitim durumu, çalışma durumu, çocuk sayısı, aile tipi, gelir düzeyi algısı, daha önce sağlık alanında bir eğitim alma, ateş düşürücü verme ile ilgili bilgi aldığı kişi. Çocuk için: yaş,

cinsiyet, çocuğun doğum sırası, daha önce ateş nedeniyle hastaneye başvurma, çocukta febrilkonvülsiyon öyküsü) olup, ikinci bölümde ise annelerin çocuğunda ateşle ilgili bilgi ve uygulamalarını inceleyen (ateş olarak tehlikeli bulduğu sıcaklık, ateşin çocuk için zararlı olduğunu düşünme, ateş düşürücüyü verdiği vücut ısısı, ateş durumunu ölçme biçimi, ilaç kullanım zamanı, ateşi düşürmek için yaptığı uygulamalar) sorulardan oluşturuldu.

Ebeveyn Ateş Yönetim Ölçeği (EAYÖ): Ölçek Walsh ve arkadaşları tarafından 2008 yılında ebeveynlerin ateş yönetimini değerlendirmek için geliştirilmiş, Çınar ve arkadaşları tarafından 2013 yılında Türkçeye çevrilerek geçerlilik, güvenirlik çalışması yapılmıştır. Ölçek sekiz sorudan oluşmaktadır. Likert tipte olan sorulara "1=asla, 2=nadiren, 3=bazen, 4=çoğunlukla, 5=daima" olarak puanlanan yanıtlar seçebilmektedir. Bu ölçeğin puanlaması en düşük 8, en yüksek 40 puan olabilir. Alınan puan arttıkça daha yüksek düzeyde uygulamalara işaret eder ve bu nedenle ateş, ateş fobisini ve çocuklarının ateşli hastalıkları sırasında ebeveyn bakım yükünün daha fazla olduğunu gösterir. Orijinal ölçeğin Cronbach Alfa güvenilirlik katsayısı 0.79 bulunmuştur. Bu çalışmada ise ölçeğin Cronbach Alfa güvenilirlik katsayısı 0,832 olarak bulunmuştur (Çınar ve ark., 2014; Walsh ve ark., 2008).

Verilerin Toplanması: Araştırmanın verileri, Türkiye/Karaman şehrinde sahadan, araştırmacı tarafından ebeveynlerle yüz yüze görüşme yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Veri toplama süreci, ebeveynlerin mahremiyetini ve yanıtların doğruluğunu desteklemek amacıyla; gürültüden uzak, sessiz ve sakin bir odada, dikkat dağıtıcı uyaranların en aza indirildiği bir ortamda gerçekleştirilmiştir.Görüşmeler, acil tıbbi müdahale gereksinimi bulunmayan ve görüşmeye katılmayı kabul eden ebeveynlerle yapılmış olup, veri toplama sırasında Tanıtıcı Bilgi Formu ve ilgili ölçekler araştırmacı tarafından ebeveynlere verilmiş ve etkilenimi azaltmak için ebeveynler tarafından doldurulması istenmiştir. Ebeveynlerin soruları olduğunda araştırmacılar tarafından cevaplandırılmıştır. Her bir görüşmenin ortalama 15 dakika sürmüştür.

Verilerin Değerlendirilmesi: Araştırmadan elde edilen verilerin analizinde Statistical PackageforSocialSciences (SPSS) 25.00 paket programı kullanılmıştır. Annelerin sosyo-demografik özelliklerine ve hastaneye başvurma nedenlerine yönelik verilerin tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanmasında; yüzde, frekans, minimum ve maximum değerler, ortalama ve standart sapma kullanılmıştır. Verilere, Shapiro-Wilk testi yapılarak normal dağılıma uygunluğu analiz edilmiştir. Ebeveynlerin sosyodemografik özellikleri ile ebeveyn ateş yönetim ölçeği puan ortalamalarının karşılaştırılması için verilerin normal dağılım durumuna göre t testi ve anova testi, normal dağılım göstermeyen durumlarda ise Mann Whitney U testi ve Kruskal Wallis analizi kullanılmıştır.

Etik Onay: Araştırmaya başlamadan önce Konya "Selçuk Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Bilimsel Araştırma EtikKurulu"ndan (Karar Sayısı: 2025/143) onay alınmıştır. Çalışmada kullanılan ölçekler için yazarlardan izin alınmıştır.

BULGULAR

Araştırmaya katılan ebeveynlerin Ebeveyn Ateş Yönetim Ölçeği (EAYÖ) toplam puan ortalaması 30.74±3.33 olarak hesaplanmış olup, ölçekten alınan puanların 21 ile 36 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ölçeğin minimum ve maksimum puan aralığı dikkate alındığında, ebeveynlerin ateş yönetimi düzeylerinin ortalamanın üzerinde olduğu söylenebilir.

Araştırmaya katılan ebeveynlerin sosyo-demografik özelliklerine bakıldığında; yaş ortalaması 19.87±1.90 olup, yaş medyan değeri 20.00 (17–35) olarak belirlenmiştir. Katılımcıların %59.5'i 26–35 yaş grubunda, %30.5'i 36–45 yaş grubunda ve %10.0'ı 18–25 yaş grubunda yer almaktadır. Ebeveynlerin %45.5'inin tek çocuğu olduğu, %36.5'inin iki çocuğa sahip olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun (%84.0) birlikte yaşadığı saptanmıştır. Eğitim düzeyi incelendiğinde ebeveynlerin %50.5'inin lise, %41.0'ının

üniversite mezunu olduğu görülmektedir. Katılımcıların %59.0'ının çalıştığı, %97.0'sinin çekirdek aile yapısına sahip olduğu ve büyük çoğunluğunun (%97.0) gelir düzeyini orta olarak algıladığı belirlenmiştir. Çocukların yaş grupları incelendiğinde en yüksek oranın %34.0 ile 3–6 yaş grubunda olduğu, bunu %31.5 ile 1–3 yaş grubunun izlediği görülmektedir. Çocukların %58.0'ının erkek, %42.0'sının kız olduğu; %51.0'ının ailenin ilk çocuğu olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmaya Katılan EbeveynlerinSosyo - Demografik Özellikleri

	x̄±SS	**Medyan (min-max)**
Yaş	19.87±1.90	20.00 (17-35)
	n (200)	**%**
Yaş		
18-25	20	10,0
26-35	119	59,5
36-45	61	30,5
Çocuk Sayısı		
Tek çocuk	91	45,5
2 çocuk	73	36,5
3 çocuk	32	16,0
4 ve üzeri	4	2,0
Birlikte yaşama		
Evet	168	84,0
Hayır	32	16,0
Eğitim düzeyi		
Okuryazar	1	0,5
İlköğretim	16	8,0
Lise	101	50,5
Üniversite	82	41,0
Çalışma durumu		
Evet	118	59,0
Hayır	82	41,1
Aile Tipi		
Çekirdek	194	97,0
Geniş	6	3,0
Gelir Düzeyi algısı		
İyi	4	2,0
Orta	194	97,0
Kötü	2	1,0
Çocuk Yaş		
0-1 yaş	15	7,5
1-3 yaş	63	31,5
3-6 yaş	68	34,0
6-12 yaş	47	23,5
12-18 yaş	7	3,5
Çocuk Cinsiyet		
Kız	84	42,0
Erkek	116	58,0
Doğum Sırası		
İlk Çocuk	102	51,0
Ortanca	15	7,5
Son çocuk	83	41,5

Katılımcıların ateş yönetimine ilişkin özellikleri incelendiğinde ebeveynlerin yalnızca

%12.5'inin sağlıkla ilgili genel bir eğitim aldığı, %43.5'inin ise ateş ile ilgili eğitim aldığı belirlenmiştir. Ateş konusunda eğitim alan ebeveynlerin büyük çoğunluğunun (%70.1) bilgiyi internet ve sosyal medya kaynaklarından edindiği, %28.7'sinin sağlık çalışanlarından eğitim aldığı görülmüştür. Katılımcıların neredeyse tamamının (%99.5) çocuklarında ateş durumunda hastaneye başvurduğu belirlenmiştir. Ebeveynlerin %29.0'ı çocuklarının daha önce havale geçirdiğini belirtirken, %71.0'ı böyle bir durum yaşamadığını ifade etmiştir. Ateş durumunda acil servise başvuru sıcaklık derecesi incelendiğinde ebeveynlerin %57.5'inin 38–39°C arasında, %41.0'ının ise 39–40°C arasında sağlık kuruluşuna başvurduğu saptanmıştır. Ayrıca ebeveynlerin %73.5'i ateşi tehlikeli olarak değerlendirmekte, %26.0'ı ise kısmen tehlikeli bulmaktadır. Ateş ölçüm yöntemleri incelendiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun (%84.0) koltuk altı ölçüm yöntemini kullandığı görülmüştür. Ebeveynlerin ateş düşürücü verme derecelerine bakıldığında %71.5'inin 38–39°C arasında ilaç verdiği belirlenmiştir. Ateşli çocuğa uygulanan müdahaleler değerlendirildiğinde ebeveynlerin %89.5'inin giysileri çıkarma, %83.0'ının ilaç verme, %66.0'ının ıslak havlu koyma ve %37.5'inin ılık duş aldırma yöntemlerini kullandığı; çok az bir kısmının sirkeli bez (%2.0) ve alkol uygulaması (%0.5) yaptığı belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Katılımcıların ateş eğitimi alma durumlarının dağılımı

Ateş Eğitimi Alma Durumları	n(200)	%
Sağlıkla ilgili genel eğitim alma		
Evet	25	12,5
Hayır	175	87,5
Ateşle İlgili Eğitim Alma		
Evet*	87	43,5
Hayır	113	56,5
Kimden alındığı		
Eğitim aldığı bölüm	25	28,7
Sağlık çalışanları	61	70,1
İnternet/sosyal medya	1	1,1
Ateş durumunda Hastaneye başvuru		
Evet	199	99,5
Hayır	1	0,5
Havale geçirme		
Evet	58	29,0
Hayır	142	71,0
Acile başvurduğu Ateş değeri		
38-39	115	57,5
39-40	82	41,0
40 ve üzeri	3	1,5
Ateşi tehlikeli bulma		
Evet	147	73,5
Hayır	1	0,5
Kısmen	52	26,0
Ölçüm tekniği		
Dokunarak	6	3,0
Alından	25	12,5
Koltuk Altından	168	84,0
Ağızdan	1	0,5
Ateş düşürücü verme derecesi		
37-38	44	22,0
38-39	143	71,5
39-40	10	5,0
40 ve üzeri	3	1,5

Ateşli çocuğa müdahale*		
Islak havlı koyma	132	66,0
Giysileri çıkarma	179	89,5
Sirkeli bezle silme	4	2,0
Ilık Duş aldırma	75	37,5
İlaç verme	166	83,0
Alkol sürme	1	0,5

*Cevaplar evet seçeneği üzerinden verilmiştir.

Ebeveynlerin ateş yönetimi ölçeği puanlarını etkileyen sosyodemografik değişkenlere ilişkin çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında kurulan regresyon modelinin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir ($F=5.172$, $p<0.001$). Model, ebeveyn ateş yönetimi puanlarındaki varyansın %50.5'ini açıklamaktadır ($R^2=0.505$). Düzeltilmiş açıklayıcılık katsayısı ise %62.6 olarak bulunmuştur (Adjusted $R^2=0.626$, Tablo 3).

Tablo3. Ebeveyn Ateş Yönetimi Üzerine Sosyodemografik Özelliklerinin Etkisine Yönelik Multiple Regresyon Analizi

		B[1] (95% CI)	**SE**	**β[2]**	**t**	**p**
Ebeveyn Ateş Yönetimi Ölçeği	**Constant**	47.594 (34.173-61.016)	6.720		7.082	<0.001
	Birlikte yaşama	1.444 (0.078-2.811)	0.684	0.201	2.111	0.039
	Çocuk yaş	-1.313 (-2.046-0.580)	0.367	-0.424	3.576	0.001
	Ateş düşürücü verme	-1.723 (-2.805-0.640)	0.542	-0.291	3.179	0.002
F=5.172, p<0.001, Adjusted R Sguare:0.626 , RSquare: 0.505						

Analiz sonucunda ebeveyn ateş yönetimi üzerinde birlikte yaşama durumu, çocuk yaşı ve ateş düşürücü verme değişkenlerinin anlamlı yordayıcılar olduğu saptanmıştır. Birlikte yaşama durumu ebeveyn ateş yönetimi puanını pozitif yönde etkilemekte olup ($\beta=0.201$, $B=1.444$, $p=0.039$), birlikte yaşayan ebeveynlerin ateş yönetimi puanlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Çocuk yaşı ebeveyn ateş yönetimi puanı ile negatif yönde ilişkili bulunmuş ($\beta=-0.424$, $B=-1.313$, $p=0.001$) ve çocuk yaşı arttıkça ateş yönetimi puanının azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde ateş düşürücü verme değişkeni de ateş yönetimi puanını negatif yönde etkilemektedir ($\beta=-0.291$, $B=-1.723$, $p=0.002$).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada çocuk acil servise ateş şikâyeti ile başvuran 0–18 yaş grubu çocukların ebeveynlerinin ateş yönetim yaklaşımları ve bu yaklaşımları etkileyen sosyodemografik değişkenler incelenmiş olup araştırma sonucunda ebeveynlerin ateş yönetimi puanlarının genel olarak orta düzeyin üzerinde olduğu, ancak ebeveynlerin ateş yönetimini etkileyen bazı faktörlerin bulunduğu belirlenmiştir.

Çalışmada birlikte yaşama durumu, çocuk yaşı ve ateş düşürücü verme davranışının ebeveyn ateş yönetimi üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Birlikte yaşayan ebeveynlerin ateş yönetimi puanlarının daha yüksek olduğu, çocuk yaşı arttıkça ateş yönetimi puanlarının azaldığı ve ateş düşürücü kullanımının ebeveyn ateş yönetimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Buna karşın diğer sosyodemografik değişkenlerin ebeveyn ateş yönetimi üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Araştırma sonuçları doğrultusunda ebeveynlerin çocukluk çağı ateşine ilişkin bilgi ve becerilerinin geliştirilmesine yönelik eğitim programlarının yaygınlaştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Özellikle küçük yaş grubunda çocuğu bulunan ebeveynlere yönelik ateş yönetimi eğitimlerinin artırılması, doğru ateş düşürücü kullanımı konusunda danışmanlık

verilmesi ve ebeveynlerin ateşe yönelik kaygılarının azaltılmasına yönelik girişimlerin planlanması önerilebilir. Ayrıca farklı bölgelerde, daha geniş örneklem grupları ile yapılacak çok merkezli ve çeşitli sosyokültürel düzeyde ebeveynlerle yapılacak çalışmaların ebeveyn ateş yönetimini etkileyen faktörlerin daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akbaş R. Yoksul ve yoksul olmayan ebeveynlerin çocuklarda ateş yönetimi ve akılcı ilaç kullanımına yönelik tutumları, Erzurum teknik üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi 2025.

Akbayram, H. T. (2024). Fever management in preschoolchildren; what do parentsknow? Whataretheydoing? Journal of Child Infection, 15(3), 154–160.

Assimamaw, N. T.,Gonete, A. T., &Terefe, B. (2024). Survey of knowledge, practice, andassociatedfactorstowardhomemanagement of childhoodfeveramongparentsvisitingGondarhealthfacilities in 2022. *Frontiers in pediatrics*, *12*, 1100828.

Bertille, N.,Fournier-Charrière, E., Pons, G., &Chalumeau, M. (2013). Managingfever in children: A nationalsurvey of parents' knowledgeandpractices in France. PLoS ONE, 8(12), e83469.

Bilenko N, Tessler H, Okbe R, Press J, Gorodischer R. Determinants of antipyreticmisuse in childrenupto 5 years of age: a cross-sectionalstudy. ClinTher. 2006;28(5):783-793.

Çınar, N. D.,Altun, I., Altınkaynak, S., &Walsh, A. (2014). Turkishparents' management of childhoodfever: a cross-sectionalsurveyusingthe PFMS-TR. *AustralasianEmergencyNursingJournal, 17*(1), 3-10.

Crocetti M, Moghbeli N, Serwint J. Fever phobiarevisited: haveparentalmisconceptionsaboutfeverchanged in 20 years. Pediatrics. 2001;107(6):1241-1246.

Çelik, T.,& Güzel, Y. (2024). Parents' Knowledge and Management of Fever: "ParentsVersus Fever!". Turkisharchives of pediatrics, 59(2), 179–184.

Çiftçi EK, Beklen S. (2014). 0-6 yaş arası çocuğu olan annelerin ateş ve ateş düşürücüler ile ilgili bilgi ve inanışları. Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 11(2):83-91.

Demir M, Bayat M. Tokat Karşıyaka doğum ve çocuk hastanesi acil servisine yüksek ateş şikayetiyle getirilen 0-5 yaş grubu çocukların annelerinin yüksek ateşle ilgili bilgi ve tutumları. Sağlık Bilimleri Dergisi. 2005;14 (Ek sayı: Hemşirelik Özel Sayısı): 22-29.

Demirtaş, Z., Dağtekin, G., Sağlan, R., Alaiye, M., Önsüz, M. F., Işıklı, B., Kılıç, F. S., &Metintaş, S. (2018). Akılcı ilaç kullanımı ölçeği geçerlilik ve güvenilirliği. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi, 3(3), 37–46.

Fields E, Chard J, Murphy MS, Richardson M. 5 yaşından küçük çocuklarda ateşli hastalıkların değerlendirilmesi ve ilk yönetimi: güncellenmiş NICE kılavuzunun özeti. BrMed J. (2013) 346.

Hussain, S. M., Al-Wutayd, O., Aldosary, A. H., Al-Nafeesah, A., AlE'ed, A., Alyahya, M. S., ... &Aloyaidi, G. A. (2020). Knowledge, attitude, andpractice in management of childhoodfeveramongSaudiparents. Global PediatricHealth, 7, 2333794X20931613.

Ulaş Karaahmetoğlu, G., Kaçan Softa, H., & Zengin, N. (2015). 0–6 yaş grubu çocuğu olan annelerin ateş ve ateşli havale ile ilgili bilgi ve uygulamalarının incelenmesi. Cumhuriyet Hemşirelik Dergisi, 4(2), 54-60.

Wilson, K. M.,Beggs, S. A., Zosky, G. R., Bereznicki, L. R., &Bereznicki, B. J. (2019). Parentalknowledge, beliefsandmanagement of childhoodfever in Australia: A nationwidesurvey. Journal of ClinicalPharmacyandTherapeutics, 44(5), 768–774.

ÇOCUK BAKIMINDA YAPAY ZEKÂ: ANNELER İÇİN NE KADAR YARARLI, NE KADAR GÜVENİLİR?

Tuba PEKŞEN
Selçuk Üniversitesi , Sağlık Bilimleri Enstitüsü,Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Yüksek Lisans Programı, 42150Konya
ORCID ID: 0009-0005-0374-371X
Prof. Dr. Sibel KÜÇÜKOĞLU
Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği AD. 42150Konya
ORCID ID: 0000-0003-3269-445X

ÖZET
Üretken yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesi, ebeveynlerin çocuk sağlığı ve bakımına ilişkin bilgi edinme, karar verme ve günlük bakım süreçlerinde yeni olanaklar sunmaktadır. Bu derlemenin amacı, annelerin çocuk bakımında yapay zekâ kullanım alanlarını, kullanım nedenlerini, sunduğu fırsatları, olası riskleri ve etik boyutlarını güncel literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Mevcut araştırmalar, ebeveynlerin yapay zekâdan çocuk sağlığı ve gelişimi hakkında bilgi edinme, çocukla iletişimi destekleme, davranış ve duygu yönetimi ile günlük bakım ve etkinlikleri planlama amacıyla yararlandıklarını göstermektedir. Hızlı bilgiye erişim, kullanım kolaylığı, etkileşimli yanıtlar ve bireyselleştirilmiş bilgi sunumu, bu teknolojilerin tercih edilmesinde öne çıkan özelliklerdir. Yapay zekâ, karmaşık sağlık bilgilerinin anlaşılır hâle getirilmesi, ebeveyn eğitiminin desteklenmesi ve kronik hastalığı bulunan çocukların bakımında ailelerin bilgi gereksinimlerinin karşılanması açısından potansiyel taşımaktadır. Bununla birlikte yanlış veya yanıltıcı sağlık bilgileri, yapay zekâya aşırı güven, profesyonel sağlık hizmetine başvurunun gecikmesi, kişisel verilerin korunması, algoritmik yanlılık ve etik sorumluluk belirsizlikleri önemli riskler arasındadır. Mevcut kanıtların çoğunlukla ebeveyn görüşleri ve kullanım deneyimlerine dayanması, yapay zekânın çocuk sağlığı üzerindeki gerçek etkilerine ilişkin daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak yapay zekânın çocuk bakımında güvenli ve bilinçli kullanımının desteklenmesinde çocuk sağlığı hemşirelerinin aile eğitimi, danışmanlık ve güvenilir sağlık bilgisine yönlendirme rolleri önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Anne, çocuk bakımı, üretken yapay zekâ, çocuk sağlığı, etik, hemşirelik.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CHILDCARE: HOW BENEFICIAL AND HOW RELIABLE IS IT FOR MOTHERS?

ABSTRACT
The development of generative artificial intelligence (AI) technologies has created new opportunities for parents to access information, make decisions, and manage daily care related to their children's health and well-being. This review aims to evaluate mothers' reasons for using AI in childcare, its areas of application, potential benefits, risks, and ethical considerations based on current literature. Existing studies indicate that parents use AI to obtain information about child health and development, support parent–child communication, manage behavioral and emotional challenges, and plan daily care routines and activities. Rapid access to information, ease of use, interactive responses, and personalized information delivery are among the key factors influencing the adoption of these technologies. AI also has the potential

to simplify complex health information, support parental education, and address the informational needs of families caring for children with chronic illnesses. However, inaccurate or misleading health information, overreliance on AI, potential delays in seeking professional healthcare, data privacy concerns, algorithmic bias, and uncertainties regarding ethical accountability represent significant risks. As existing evidence is largely based on parental perceptions and self-reported experiences, further research is needed to determine the actual effects of AI use on child health outcomes. In conclusion, pediatric nurses play an important role in promoting the safe and responsible use of AI in childcare through family education, counseling, and guidance toward reliable health information sources.
Keywords: Mothers, Childcare, generativeartificialintelligence, Childhealth, Ethics, Pediatricnursing.

GİRİŞ

Sağlık hizmetlerinde dijitalleşme, bireylerin sağlık bilgisine erişim ve karar verme süreçlerini dönüştürürken ebeveynlerin çocuk bakımına ilişkin bilgi edinme davranışlarını da etkilemektedir. Dijital kaynakların yaygınlaşması, bilgiye erişimi kolaylaştırmakla birlikte bilgilerin doğruluğu, güvenilirliği ve bakım kararlarında kullanımı konusunda yeni tartışmaları gündeme getirmektedir (Kubb ve Foran, 2020; Mertens ve ark., 2024).Bu dönüşümün önemli gelişmelerinden biri olan üretken yapay zekâ, kullanıcıların sorularına etkileşimli ve kişiselleştirilmiş yanıtlar sunarak sağlık bilgisine erişimde yeni olanaklar sağlamaktadır. Büyük dil modellerinin sağlık alanında artan kullanımı, bu teknolojilerin sağlık profesyonellerinin yanı sıra sağlık bilgisi arayan bireyler açısından da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Aydin ve ark., 2024; WHO, 2024).

Çocuk bakımında yapay zekâ kullanımı, çocukların gelişimsel özellikleri ve bireysel sağlık gereksinimleri nedeniyle özel önem taşımaktadır. Güncel araştırmalar ebeveynlerin yapay zekâ kullanım deneyimlerini ve tutumlarını incelemekle birlikte, anne ve babaların çoğunlukla birlikte değerlendirilmesi annelere özgü sonuçların yorumlanmasını güçleştirmektedir (Güngör ve Güngör, 2026; Kruse ve ark., 2026).Yapay zekânın çocuk bakımında kullanımı; bilgi doğruluğu, güvenilirlik, kişisel verilerin korunması ve sağlık profesyonellerinin rehberliğinin sürdürülmesi açısından etik değerlendirmeleri gerektirmektedir. Uluslararası rehberler, sağlıkta yapay zekâ kullanımında insan gözetimi, güvenilirlik ve hesap verebilirliğin önemini vurgulamaktadır (WHO, 2021, 2024). Çocuk sağlığı hemşireleri, aile merkezli bakım ve danışmanlık rolleri doğrultusunda ebeveynlerin yapay zekâ kullanımını değerlendirme ve güvenli kullanım konusunda rehberlik etme sorumluluğuna sahiptir. Bu çalışmanın amacı, annelerin çocuk bakımında yapay zekâ kullanım nedenlerini, alanlarını ve etkileyen faktörleri incelemek; fırsatlarını, risklerini ve etik boyutlarını değerlendirerek hemşirelerin bu süreçteki rollerini ortaya koymaktır.

Annelerin Çocuk Bakımında Yapay Zekâ Kullanımı

Üretken yapay zekâ teknolojileri, ebeveynlerin çocuk sağlığı ve bakımına ilişkin bilgi edinme süreçlerinde yeni bir dijital kaynak hâline gelmiştir. Geleneksel internet aramalarından farklı olarak etkileşimli yanıtlar sunan bu sistemler; çocuk sağlığı, gelişimsel rehberlik, iletişim ve günlük bakımın planlanması gibi alanlarda kullanılmaktadır (Güngör ve Güngör, 2026; Kruse ve ark., 2026).

Annelerin Yapay Zekâ Kullanma Nedenleri

Ebeveynlerin üretken yapay zekâya yönelmelerinde hızlı bilgiye erişim, kullanım kolaylığı, etkileşimli yanıt alma ve bilgilerin bireysel gereksinimlere uyarlanabilmesi öne çıkmaktadır.

Bu sistemler, farklı kaynaklardan bilgi toplama gereksinimini azaltarak doğrudan ve anlaşılır yanıtlar sunmaktadır (Lau ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2025). Lau ve ark. (2025), kronik romatolojik hastalığı olan çocukların ebeveynlerinin yapay zekâ destekli sohbet sistemlerini zaman tasarrufu ve erişilebilirlik açısından yararlı bulduklarını, özellikle sağlık profesyonellerine ulaşılamayan zamanlarda bilgi desteği sağlayabileceğini düşündüklerini bildirmiştir.

Türkiye'de 40 ebeveynle gerçekleştirilen nitel araştırmada da yapay zekânın hızı, esnekliği ve günlük ebeveynlik sorunlarına pratik çözümler sunması tercih nedenleri arasında belirtilmiştir (Güngör ve Güngör, 2026). Zhang ve ark. (2025), 12 aileyle gerçekleştirdikleri araştırmada, ebeveynlerin yapay zekânın bilgileri bütünleştirilmiş biçimde sunmasını, ek sorulara yanıt verebilmesini ve açıklamaları bireysel gereksinimlere göre düzenleyebilmesini yararlı bulduklarını belirlemiştir. Bu bulgular, yapay zekâ kullanımında yalnızca hızın değil, etkileşim ve kişiselleştirmenin de önemli olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte olumlu değerlendirmeler yaygın kullanım anlamına gelmemektedir. İsviçre'de 457 ebeveyn ve bakım verenle gerçekleştirilen araştırmada, üretken yapay zekâyı daha yoğun kullananların oranı ebeveynlik bilgisi için %4,8, çocuk sağlığı bilgisi için %8,1 olarak bildirilmiştir (Kruse ve ark., 2026). Bu sonuçlar, yapay zekânın ebeveynler için gelişmekte olan ancak incelenen örneklemde henüz sınırlı kullanılan bir bilgi kaynağı olduğunu göstermektedir.

Annelerin Çocuk Bakımında Yapay Zekâyı Kullanım Alanları

Ebeveynler üretken yapay zekâdan çocuk sağlığı ve gelişimi, iletişim, davranış ve duygu yönetimi ile günlük bakım ve etkinliklerin planlanması gibi farklı alanlarda yararlanmaktadır (Güngör ve Güngör, 2026; Kruse ve ark., 2026).

Çocuk sağlığı ve gelişimine ilişkin bilgi edinme: Ebeveynler, çocuklarının sağlık ve gelişimsel gereksinimlerine yönelik bilgi almak amacıyla yapay zekâya başvurmaktadır (Kruse ve ark., 2026). Konuşma ve dil bozukluğu bulunan çocukların 204 ebeveyniyle gerçekleştirilen araştırmada, katılımcıların %28,4'ünün bu konuda bilgi edinmek için ChatGPT kullandığı; kullanımın ebeveynlerin eğitim düzeyi, cinsiyeti ve çocuğun terapi hizmetlerine katılımıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Şimşek ve Güneş, 2026).

Çocukla iletişimin desteklenmesi: Ebeveynler, karmaşık veya hassas konuları çocuklarının gelişim düzeyine uygun biçimde açıklamak ve çocuklarıyla iletişimlerini yapılandırmak amacıyla yapay zekâdan yararlanmaktadır (Güngör ve Güngör, 2026).

Davranış ve duygu yönetimi: Yapay zekâ, çocukların duygusal zorlanmaları, okula gitmek istememeleri ve davranışsal sorunları karşısında ebeveynlerin uygun yaklaşım geliştirmek için başvurdukları kaynaklardan biridir. Ayrıca ebeveynler, kendi duygusal tepkilerini değerlendirmek ve çocuklarıyla iletişimlerini düzenlemek amacıyla da bu sistemleri kullanmaktadır (Güngör ve Güngör, 2026).Günlük rutin, oyun ve etkinlik planlaması: Ebeveynler, çocuklarının yaşlarına uygun oyun ve etkinlikler oluşturma, hikâye geliştirme, ekran dışı aktiviteler planlama ve günlük rutinleri düzenleme amacıyla yapay zekâdan yararlanmaktadır (Güngör ve Güngör, 2026).

Sonuç olarak üretken yapay zekâ, çocuk bakımının sağlık, gelişimsel, eğitsel ve psikososyal boyutlarında kullanılmaktadır. Ancak mevcut bulgular çoğunlukla ebeveynlerin öz bildirimlerine dayanmakta olup yapay zekâ önerilerinin bilimsel doğruluğunu veya çocuk sağlığı üzerindeki etkilerini doğrudan kanıtlamamaktadır.

Çocuk Bakımında Yapay Zekâ Kullanımının Fırsatları

Sağlık Bilgisine Hızlı ve Kolay Erişim: Üretken yapay zekâ, ebeveynlerin çocuk sağlığına ilişkin bilgiye hızlı ulaşmasını ve sağlık profesyonelleriyle görüşmeler arasındaki dönemlerde bilgi gereksinimlerinin desteklenmesini sağlayabilecek bir araçtır (Lau ve ark., 2025). Çin'de

185 aile bireyiyle gerçekleştirilen araştırmada katılımcıların %74'ü kullanım kolaylığını, %41,1'i tanısal süreçlerde verimlilik sağlama potansiyelini avantaj olarak değerlendirmiş; %18,4'ü yapay zekâyı çocuk sağlığı konusunda temel bilgi kaynağı olarak kullandığını bildirmiştir (Huang ve ark., 2025). Lau ve ark. (2025), ebeveynlerin hastalığa özgü geliştirilen yapay zekâ sistemlerini genel amaçlı ChatGPT'ye kıyasla kullanmaya daha istekli olduklarını belirlemiştir. Bu bulgular, ebeveynlerin hızlı erişimin yanı sıra güvenilir ve hastalığa özgü bilgileri önemsediklerini göstermektedir.

Karmaşık Sağlık Bilgilerinin Anlaşılır Hâle Getirilmesi: Üretken yapay zekâ, karmaşık tıbbi bilgilerin özetlenmesi, sadeleştirilmesi ve kullanıcıların bilgi düzeyine uygun açıklanması amacıyla kullanılabilmektedir. Aydin ve ark. (2024) tarafından 201 çalışmanın incelendiği derlemede, araştırmaların %80,5'inin hasta eğitimi materyallerinin oluşturulmasına, %71,6'sının hasta sorularının yanıtlanmasına odaklandığı belirlenmiştir. Ancak metinlerin okunabilirliğinin artması, bilgilerin her zaman doğru ve eksiksiz olduğu anlamına gelmemektedir. Lau ve ark. (2025) da ebeveynlerin sağlık bilgilerinin kendi anlama düzeylerine uygun sunulmasını önemsediklerini bildirmiştir. Bu nedenle yapay zekâ, annelerin tıbbi bilgileri anlamalarını destekleyebilir; ancak sağlık okuryazarlığı üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir.

Bireyselleştirilmiş Bilgi ve Ebeveyn Eğitiminin Desteklenmesi: Üretken yapay zekâ, sağlık eğitimi içeriklerinin ebeveynlerin bilgi gereksinimlerine ve anlama düzeylerine göre düzenlenmesine olanak sağlamaktadır (Aydin ve ark., 2024). Lau ve ark. (2025), ebeveynlerin çocukların hastalıklarına özgü, sağlık profesyonellerinin katkısıyla geliştirilmiş sistemleri daha güvenilir bulduklarını bildirmiştir. Bu doğrultuda yapay zekâ destekli eğitim içeriklerinin çocuğun gelişim dönemi, sağlık durumu ve ebeveynin gereksinimlerine göre hazırlanması önemlidir. Ancak kişiselleştirilmiş yanıtların klinik açıdan uygunluğu doğrulanmalı ve ebeveynlerin bilgi, bakım becerileri ve tedaviye uyumları üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir (WHO, 2024; Aydin ve ark., 2024).

Kronik Hastalık Bakımında Ailelerin Desteklenmesi: Kronik hastalığı bulunan çocukların aileleri; hastalık belirtileri, ilaç kullanımı, tedaviye uyum ve günlük bakım konusunda sürekli bilgi desteğine gereksinim duymaktadır. Lau ve ark. (2025), pediatrik romatolojik hastalıklara özgü yapay zekâ sistemlerinin sağlık profesyonelleriyle görüşmeler arasındaki dönemlerde ailelerin bilgi gereksinimlerini destekleyebileceğini bildirmiştir. Ancak araştırmada klinik sonuçlar değil, katılımcıların beklentileri ve kullanım niyetleri değerlendirilmiştir. Yapay zekâ, annelerin sağlık görüşmeleri öncesinde sorularını hazırlamalarına ve hastalıkla ilgili bilgileri gözden geçirmelerine de yardımcı olabilir (Aydin ve ark., 2024). Bununla birlikte bu uygulamaların kronik hastalık yönetimini ve çocukların sağlık sonuçlarını iyileştirdiğine ilişkin doğrudan kanıtlar henüz sınırlıdır. Sonuç olarak üretken yapay zekâ, çocuk bakımında bilgiye erişim, sağlık eğitimi ve kronik hastalık yönetiminin desteklenmesi açısından potansiyel sunmaktadır. Ancak bu olanakların gerçek etkilerini belirlemek için ebeveynlerin bilgi ve bakım davranışları ile çocukların sağlık sonuçlarını değerlendiren araştırmalara gereksinim bulunmaktadır. Ayrıca bilgi doğruluğu, güvenilirlik, mahremiyet ve etik ilkeler gözetilmelidir (Aydin ve ark., 2024; Huang ve ark., 2025; Lau ve ark., 2025; WHO, 2024).

Çocuk Bakımında Yapay Zekâ Kullanımının Riskleri

Üretken yapay zekâ, çocuk bakımında bilgiye erişimi kolaylaştırmakla birlikte yanlış bilgi üretimi, aşırı güven, veri mahremiyeti ve etik sorumluluk açısından önemli riskler taşımaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, sağlık alanında kullanılan yapay zekâ sistemlerinin yanlış, eksik veya yanlı bilgiler oluşturabileceğini ve güvenli kullanım için insan gözetiminin gerekli olduğunu vurgulamaktadır (WHO, 2024).

*Yanlış ve Yanıltıcı Sağlık Bilgileri:*Üretken yapay zekâ sistemleri, akıcı ve güvenilir görünen ancak bilimsel açıdan yanlış veya eksik bilgiler üretebilmektedir. Barile ve ark. (2024), ChatGPT-3.5'in 100 pediatrik olgudaki tanısal performansını değerlendirdikleri araştırmada, 17 olguda doğru, 72 olguda yanlış ve 11 olguda yeterince özgül olmayan tanı oluşturulduğunu belirlemiştir. Ancak bu sonuçlar tüm yapay zekâ modellerine genellenmemelidir.Huang ve ark. (2025) tarafından 185 katılımcıyla gerçekleştirilen araştırmada, katılımcıların %52'si yanlış bilgi ve hatalı tanıyı önemli bir dezavantaj olarak değerlendirmiş, %71,2'si ise yapay zekâ tarafından sunulan pediatrik sağlık bilgilerinin kısmen doğru olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular, yapay zekâ yanıtlarının bilimsel doğruluğunun ve çocuğun klinik durumuna uygunluğunun değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (WHO, 2024).

Yapay Zekâya Aşırı Güven ve Sağlık Hizmetine Başvurunun Gecikmesi: Yapay zekâ yanıtlarının sorgulanmadan kabul edilmesi, otomasyon yanlılığına yol açarak hatalı sağlık kararlarına neden olabilir (WHO, 2024). Özellikle çocuklarda belirtilerin yanlış değerlendirilmesi, profesyonel sağlık hizmetine başvurunun gecikmesi açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Barile ve ark., 2024). Ancak bu gecikmenin ebeveynlerin gerçek yaşam davranışlarında gerçekleştiğine ilişkin doğrudan kanıtlar sınırlıdır.Huang ve ark. (2025), katılımcıların %91,1'inin yapay zekânın gelecekte hekimlerin yerini alamayacağını düşündüğünü bildirmiştir. Bu sonuç, profesyonel sağlık hizmetlerinin öneminin kabul edildiğini göstermekle birlikte yapay zekâya aşırı güven riskini ortadan kaldırmamaktadır.

Çocukların Kişisel Verilerinin Korunması ve Mahremiyet: Annelerin çocuklarının sağlık durumu, gelişimsel özellikleri ve tedavi süreçlerine ilişkin bilgileri yapay zekâ sistemleriyle paylaşması, kişisel verilerin korunması açısından risk oluşturmaktadır (WHO, 2024).Huang ve ark. (2025), katılımcıların %17,1'inin veri mahremiyeti ve güvenliğini önemli bir dezavantaj olarak değerlendirdiğini bildirmiştir. Filogna ve ark. (2025) ise ailelerin kişisel bilgilerin kimlerle paylaşılacağı, nasıl kullanılacağı ve veri erişimi üzerindeki kontrolleri konusunda kaygı duyduklarını belirlemiştir. Bu nedenle veri güvenliği, çocuk hakları ve ailelerin bilgilendirilmiş karar verme süreçleri kapsamında ele alınmalıdır.

Algoritmik Yanlılık ve Dijital Eşitsizlikler: Yapay zekâ sistemlerinin yanlı veya yetersiz verilerle geliştirilmesi, farklı kullanıcı gruplarına sunulan bilgilerin doğruluğunu ve uygunluğunu etkileyebilir (WHO, 2024). Pediatrik uygulamalarda çocukların yaş ve gelişimsel özelliklerinin dikkate alınması, algoritmik adalet açısından önem taşımaktadır (Kurath-Koller, 2025).Huang ve ark. (2025), yapay zekâ farkındalığının ileri yaş, düşük eğitim düzeyi ve kırsal bölgelerde yaşama gibi özelliklerle ilişkili olduğunu belirlemiştir. Bu bulgular, ailelerin dijital teknolojilere erişim ve kullanım becerilerindeki farklılıkların çocuk sağlığında eşitsizlikleri artırma potansiyeline işaret etmektedir.

Şeffaflık, Hesap Verebilirlik ve Etik Sorumluluk: Yapay zekâ tarafından oluşturulan önerilerin nasıl üretildiğinin ve hatalı sonuçlardan kimin sorumlu olduğunun belirsizliği önemli etik sorunlardandır. WHO (2024), sağlıkta yapay zekâ kullanımında şeffaflık, hesap verebilirlik, insan gözetimi ve düzenleyici denetimin gerekliliğini vurgulamaktadır.Huang ve ark. (2025), katılımcıların %44,5'inin hatalı tanı durumunda sorumluluğun belirsizliğini dezavantaj olarak değerlendirdiğini bildirmiştir. Filogna ve ark. (2025), ailelerin yapay zekâ sistemlerinin kullandığı veriler hakkında bilgi sahibi olmak istediklerini; Kurath-Koller (2025) ise pediatrik yapay zekâ uygulamalarında gelişimsel özelliklere uygun etik standartların oluşturulması gerektiğini vurgulamıştır.

Sonuç olarak çocuk bakımında yapay zekâ kullanımının temel riskleri; yanlış sağlık bilgileri, aşırı güven, mahremiyet ihlalleri, algoritmik yanlılık ve etik sorumluluk sorunlarıdır. Bu risklerin azaltılmasında ailelerin güvenilir bilgi kaynaklarına yönlendirilmesi, çocukların kişisel

verilerinin korunması ve profesyonel sağlık değerlendirmesinin sürdürülmesi önem taşımaktadır (WHO, 2024).

KAYNAKLAR

Aydin, S., Karabacak, M., Vlachos, V., & Margetis, K. (2024). Large language models in patient education: A scoping review of applications in medicine. *Frontiers in Medicine, 11*, 1477898. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1477898 frontiersin.org

Barile, J., Margolis, A., Cason, G., Kim, R., Kalash, S., Tchaconas, A., & Milanaik, R. (2024). Diagnostic accuracy of a large language model in pediatric case studies. *JAMA Pediatrics, 178*(3), 313–315. https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2023.5750 PubMed

Filogna, S., Arras, G., Turchi, T., Prencipe, G., Beani, E., Bombonato, C., Fedeli, F., D'Alessandro, G., Scrocco, A., & Sgandurra, G. (2025). Pathways to family-centered healthcare: Co-designing AI solutions with families in pediatric rehabilitation. *Frontiers in Robotics and AI, 12*, 1594529. https://doi.org/10.3389/frobt.2025.1594529 frontiersin.org

Güngör, B., & Güngör, A. (2026). Why parents of children aged 4–6 use generative AI: A qualitative interview study. *Children and Youth Services Review, 189*, 109196. https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2026.109196 ScienceDirect

Huang, Y.-D., Zeng, S.-L., Lin, J., Mao, Z.-P., Zhang, Q.-L., Feng, G.-Z., & Ou, Q.-X. (2025). Parents' understanding and attitudes toward the application of AI in pediatric healthcare: A cross-sectional survey study. *Frontiers in Public Health, 13*, 1654482. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1654482 PubMed

Kruse, F., Nagel, A., & Kruse, E. (2026). New directions in parenting and child health information? The role of generative artificial intelligence. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans, 9*, 100334. https://doi.org/10.1016/j.chbah.2026.100334 ScienceDirect

Kubb, C., & Foran, H. M. (2020). Online health information seeking by parents for their children: Systematic review and agenda for further research. *Journal of Medical Internet Research, 22*(8), e19985. https://doi.org/10.2196/19985 PubMed

Kurath-Koller, S. (2025). Artificial intelligence in pediatrics: Promise, peril, and the path ahead. *Frontiers in Pediatrics, 13*, 1631521. https://doi.org/10.3389/fped.2025.1631521 frontiersin.org

Lau, C. W. Y., Kupiec, K., & Livermore, P. (2025). Exploring the acceptance and opportunities of using a specific generative AI chatbot to assist parents in managing pediatric rheumatological chronic health conditions: Mixed methods study. *JMIR Pediatrics and Parenting, 8*, e70409. https://doi.org/10.2196/70409 PubMed

Mertens, E., Ye, G., Beuckels, E., & Hudders, L. (2024). Parenting information on social media: Systematic literature review. *JMIR Pediatrics and Parenting, 7*, e55372. https://doi.org/10.2196/55372 pediatrics.jmir.org

Şimşek, A., & Güneş, Z. (2026). Generative AI use and social disparities in pediatric rehabilitation: A cross-sectional study of ChatGPT use among parents of children with speech and language disorders in Türkiye. *Frontiers in Public Health, 14*, 1817290. https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1817290 frontiersin.org

World Health Organization. (2021). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance*. https://www.who.int/publications/b/58847 who.int

World Health Organization. (2024). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: Guidance on large multi-modal models*. https://www.who.int/publications/b/70584 who.int

Zhang, S., Li, J., Cagiltay, B., Kirkorian, H., Mutlu, B., & Fawaz, K. (2025). A qualitative exploration of parents and their children's uses and gratifications of ChatGPT. *Family Relations, 74*(3), 1056–1071. https://doi.org/10.1111/fare.13171 Wiley Online Library

NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN ÇEVRESEL MARUZİYET YOLLARI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ TOKSİKOLOJİK ETKİLERİ: BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK BİR BAKIŞ

Doç. Dr. Sinem ÇOLAK
Department of Chemistry and Chemical Process Technology, Çaycuma Food and Agriculture Vocational School, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6731-327X
Doç. Dr. Koray ALPER
Department of Chemistry and Chemical Process Technology, Çaycuma Food and Agriculture Vocational School, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6845-2087

ÖZET
Son yıllarda yeni bir malzeme kaynağı olarak büyük ilgi gören Nadir toprak elementleri (NTE'ler), kendilerine özgü işlevleri sayesinde günümüz teknolojisinde vazgeçilmez metaller haline gelmiştir. Ancak NTE ler, uzun vadeli ve büyük ölçekli madenciliği ile kullanımı, gelişen endüstriyel, yüksek teknoloji, elektronik ve tarımsal uygulamalar sonucunda çevreye salınan kritik "yeni nesil kirleticiler" arasında yer almaktadır. Bu elementlerin sucul ve karasal ekosistemlerdeki biyolojik matrisler (kabuklular, balıklar ve bitkiler) tarafından birikimi, ekotoksikolojik risk değerlendirmesi ve çevresel kalite kontrolü (biyomonitörizasyon) açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, belirli bir döneme (2015–2026) ait biyolojik matrislerde NTE biyobirikimi, çevresel maruziyet yolları ve insan sağlığı üzerindeki toksikolojik etkileri uluslararası literatür düzeyinde bibliyometrik ve tematik eğilim analizleriyle incelenmiştir. Literatür sentezi sonucunda; NTE maruziyetinin solunum, sinir, kardiyovasküler, üreme ve iskelet sistemleri üzerindeki hedef organ hasarları, oksidatif stres mekanizmaları ve hücresel düzeydeki apoptotik yollar detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, NTE maruziyetinin çok sistemli bir toksikolojik tehdit potansiyeli barındırdığını ve güvenli maruziyet eşiklerinin yeniden tanımlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmada en yoğun çalışılan hedef organizmalar, coğrafi odak noktaları, element bazlı birikim eğilimleri (özellikle hafif NTE'lerin ağırlığı) ve ana araştırma kümeleri detaylı bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu alandaki mevcut akademik yönelimleri ve bilgi boşluklarını ortaya koymakta, aynı zamanda gelecekteki çevresel izleme çalışmaları ve ekotoksikolojik araştırmalar için kapsamlı bir rehber niteliği taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Nadir Toprak Elementleri, İnsan Sağlığı, Toksikolojik Etkiler, Maruziyet Yolları, Biyomonitörizasyon, Bibliyometrik Analiz.

ENVIRONMENTAL EXPOSURE ROUTES AND TOXICOLOGICAL EFFECTS OF RARE EARTH ELEMENTS ON HUMAN HEALTH: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC REVIEW

ABSTRACT

Rare earth elements (REEs), which have attracted great interest as a new material source in recent years, have become indispensable metals in today's technology due to their unique functions. However, long-term and large-scale mining and use of REEs are among the critical "next-generation pollutants" released into the environment as a result of developing industrial, high-tech, electronic and agricultural applications. The accumulation of these elements by biological matrices (crustaceans, fish and plants) in aquatic and terrestrial ecosystems is of great importance for ecotoxicological risk assessment and environmental quality control (biomonitoring). In this study, REE bioaccumulation in biological matrices, environmental exposure routes and toxicological effects on human health for a specific period (2015–2026) were examined with bibliometric and thematic trend analyses at the international literature level. As a result of the literature synthesis; target organ damages on respiratory, nervous, cardiovascular, reproductive and skeletal systems, oxidative stress mechanisms and apoptotic pathways at the cellular level due to REE exposure have been revealed in detail. The findings emphasize that REE exposure carries a multisystem toxicological threat potential and that safe exposure thresholds should be redefined. The most intensively studied target organisms, geographical focal points, element-based accumulation trends (especially the prevalence of light REEs) and main research clusters were determined in detail in the study. The findings reveal the current academic orientations and knowledge gaps in this field, and also serve as a comprehensive guide for future environmental monitoring studies and ecotoxicological research.

Keywords: Rare Earth Elements (REEs), Human Health, Toxicological Effects, Exposure Pathways, Biomonitoring, Bibliometric Analysis.

1. INTRODUCTION

Rare earth elements (REEs) comprise a group of metals with remarkably similar chemical and physical properties, encompassing the 15 lanthanide elements (from lanthanum to lutetium) in the periodic table, along with scandium and yttrium. Owing to their unique electrical conductivity, magnetic, optical, and thermal properties, they are extensively utilized in high-tech industrial products, permanent magnets, batteries, green energy components, catalysts, medical devices, and agricultural fertilizers/additives (Turner et al., 2021; Grosjean et al., 2022; Zapp et al., 2022). However, this intensive industrial, medical, and agricultural exploitation over the past two decades has dramatically increased the release of REEs into environmental media, causing widespread contamination across aquatic and terrestrial biospheres and facilitating their entry into living organisms via migration pathways (Huo et al., 2017).

In environmental monitoring (biomonitoring) studies, the accumulation of contaminants in the tissues of living organisms is regarded as a reflection of both aquatic and biotic quality, serving as robust proxy indicators for assessing environmental health. Notably, it is well established that filter-feeding organisms and benthic species in direct contact with sediments within aquatic environments can bioaccumulate high concentrations of REEs, whereas concentrations tend to decrease toward higher trophic levels such as vertebrates (fish). Pioneering field investigations conducted in China have demonstrated that REE accumulation in biological matrices exhibits species- and element-specific characteristics, with light rare earth elements (LREEs) displaying

a pronounced enrichment (fractionation) pattern relative to heavy rare earth elements (HREEs) (Wang et al., 2019).

Furthermore, comprehensive reviews published in recent years have indicated that REE exposure is not merely confined to environmental dimensions, but also poses substantial threats to human health via inhalation, dietary intake, and dermal contact pathways. A recent review specifically emphasized that given the widespread environmental occurrence and persistence of REEs, there is a critical need to fully elucidate the adverse human health outcomes and underlying mechanisms of action associated with REE particulates. Existing literature has also been evaluated, demonstrating that the human body can be exposed to REEs through inhalation, ingestion, dermal absorption, and related pathways; the resulting bioaccumulation impairs the structure and function of various organs, culminating in multi-system disorders (e.g., diseases involving the respiratory, nervous, cardiovascular, reproductive, and immune systems) (Wang et al., 2024). In particular, the deleterious effects of REEs on diverse tissues and organs appear to be mediated by environmental factors, particle size, exposure dose, and exposure duration. Accumulating evidence reveals that REE burden can induce oxidative stress, DNA damage, cellular toxicity, and dysfunction across multiple organ systems (Brouziotis et al., 2022).

Although the volume of published articles in this domain has grown rapidly, bibliometric studies that holistically assess the temporal evolution, geographic distribution, inter-element correlations, and prominent research themes of this accumulation remain remarkably scarce. Therefore, the primary objective of this study is to map the bibliometric and thematic landscape of the international literature investigating REE bioaccumulation and biomonitoring processes in biological matrices, to identify highly cited trends, and to delineate existing research gaps, thereby offering a holistic perspective to the scientific community.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, a Bibliometric and Thematic Trend Analysis method was employed to examine academic trends in the field of rare earth element (REE) bioaccumulation in biological matrices and biomonitoring.

The literature search was performed using the Scopus and Web of Science (WoS) databases, which host the most comprehensive peer-reviewed journal indexes on a global scale. The search strategy was optimized to cover the bioaccumulation and monitoring of REEs in biological systems: publications from 2015 to 2026 were filtered in the search. Only peer-reviewed research and review articles published in English were included in the study; conference proceedings, book chapters, and duplicate records were excluded from the dataset.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The findings derived from the literature synthesis indicate that studies on REE bioaccumulation have increased exponentially in recent years, demonstrating that the subject has reached an ecotoxicolocigally critical threshold:

3.1. Thematic Trends and Target Organisms

Conducted studies have revealed that research is primarily concentrated across three major clusters:

(1) Accumulation levels in aquatic and terrestrial biota
(2) Light REE (LREE) and heavy REE (HREE) fractionation mechanisms
(3) Selection of bioindicator organisms for environmental monitoring (biomonitoring)

As notably underscored by Wang et al. (2019), it is corroborated within the bibliometric

network that mollusks (such as mussel and oyster species) accumulate REEs at concentrations two to three orders of magnitude higher than fish owing to their elevated filtration capacities and close contact with sediments, thus ranking among the most reliable bioindicators.

3.2. Element-Based Distribution and Anomaly Trends

Throughout the reviewed literature, it has been observed that the total NTE (∑REE) content in biological matrices exhibits a profile predominantly composed of light rare earth elements (La, Ce, Nd). It has been determined that in most organisms, Ce (Cerium) and Eu (Europium) elements display anomalies (negative or positive) that differ from other elements, depending on their redox potentials. This situation has been directly linked to the nutritional ecology and habitat characteristics of the organisms (MacMillan et al., 2019).

3.3. Effects on Human Health

The rapid increase in the use of rare earth elements in industrial, technological, and medical fields necessitates a detailed examination of their toxicological profiles on living organisms and human health. Table 1 systematically summarizes current literature findings from in vivo and in vitro models and epidemiological studies, revealing the target organ systems affected by REE exposure and the resulting pathological consequences.

When the available data is examined, it is clear that the nervous, cardiovascular, reproductive, and skeletal systems, especially the respiratory system, are among the most sensitive target tissues for REE accumulation. In particular, elements such as cerium (Ce), lanthanum (La), and yttrium (Y) taken into the body through the respiratory tract (such as occupational/environmental dust inhalation) have been observed to trigger pulmonary fibrosis, pneumoconiosis, extrapulmonary translocation, and inflammatory responses due to oxidative stress. Similarly, gadolinium-based contrast agents have been reported to cause neurological damage and osteoporosis-like metabolic disorders by accumulating permanently in brain tissue and the skeletal system (bones) through iatrogenic (medical) exposure.

It is noteworthy that exposure to light REEs such as neodymium (Nd) and lanthanum (La) during pregnancy and development can increase the risk of fetal neural tube defects, growth restriction, and reproductive toxicity; in occupational or environmental settings, they can show destructive effects on the hematopoietic system and trigger anemic processes. Consequently, this picture clearly reveals that REE exposure carries the potential for a multi-system toxicological threat not limited to a single organ, and thus, safe exposure thresholds (safety standards) urgently need to be redefined.

The pathways of rare earth elements (REEs) from environmental sources to the human body and their toxicological effects on target organ systems are given in Figure 1 (Wang et al., 2024). Figure 1 shows the chronic health risks of REE exposure by demonstrating the accumulation of elements in target tissues, especially by triggering oxidative stress mechanisms, DNA damage, and apoptotic pathways at the cellular level.

Table 1. Toxicological Effects of Rare Earth Elements on Human Health (Wang et al., 2024).

System / Organ	REE	Exposure Route	Toxicity Outcome / Effect	Reference
Respiratory System	Y	Endotracheal administration	Dyspnea (shortness of breath), pulmonary edema, pleural effusion	Han et al., 2018
	Ce	Environmental exposure, dermal contact	Extrapulmonary translocation, interstitial lung disease, pulmonary fibrosis, pneumoconiosis, cytotoxicity	Gong, 1996
	La	Environmental exposure	Phosphate accumulation, pulmonary fibrosis	Censi et al., 2011
	Ce	Occupational exposure, environmental exposure	Cytotoxicity, genotoxicity, lung cancer, inflammation, granulomas	Toya et al., 2010
	Dy	Endotracheal instillation	Lung injury, oxidative stress, inflammatory response	Nakamura et al., 1997
	Sm	Endotracheal administration	Lung injury, inflammatory response, pulmonary fibrosis	Zhao et al., 2021
	Th	Environmental exposure, dermal contact	Dyspnea, pneumoconiosis, lung cancer	Chen et al., 2015
Nervous System	Gd	Iatrogenic exposure (medical application)	Brain accumulation, brain damage	Gaman et al., 2021
	Nd	Environmental exposure, food chain	Fetal neural tube defects	Wei et al., 2020
	La	Environmental exposure, dermal contact, food chain	Learning and memory impairment, reduction in spatial discrimination, cytotoxicity	Lin et al., 2017
Cardiovascular System	Ce	Environmental exposure	Decreased hemoglobin levels, anemia	Gaman et al., 2020
	Gd	Endotracheal instillation	Cytotoxicity, hematopoietic destruction	Gao et al., 2022
	La	Occupational exposure	Accumulation in blood vessels	Censi et al., 2011
	Nd	Environmental exposure, dermal contact, food chain	DNA damage, cytotoxicity, abnormal cardiovascular and cerebrovascular development	Chen et al., 2020
Reproductive System	Ce	Environmental exposure, oral intake	Oxidative stress, placental dysfunction, fetal miscarriage, growth restriction	Qin et al., 2019
	Gd	Iatrogenic exposure	Inflammatory or invasive skin conditions, stillbirth, neonatal death	Ray et al., 2016
Skeletal System	Gd	Iatrogenic exposure	Bone accumulation, osteoporosis	Darrah et al., 2009
	Y	Iatrogenic exposure	Bone accumulation	Galusha et al., 2018
	Nd	Occupational and environmental exposure	Bone metabolism disorders, decreased bone mineral density	Liu et al., 2021
	La	Environmental exposure, food chain	Abnormal calcium and phosphorus metabolism, decreased bone mineral density	Shankar et al., 1992

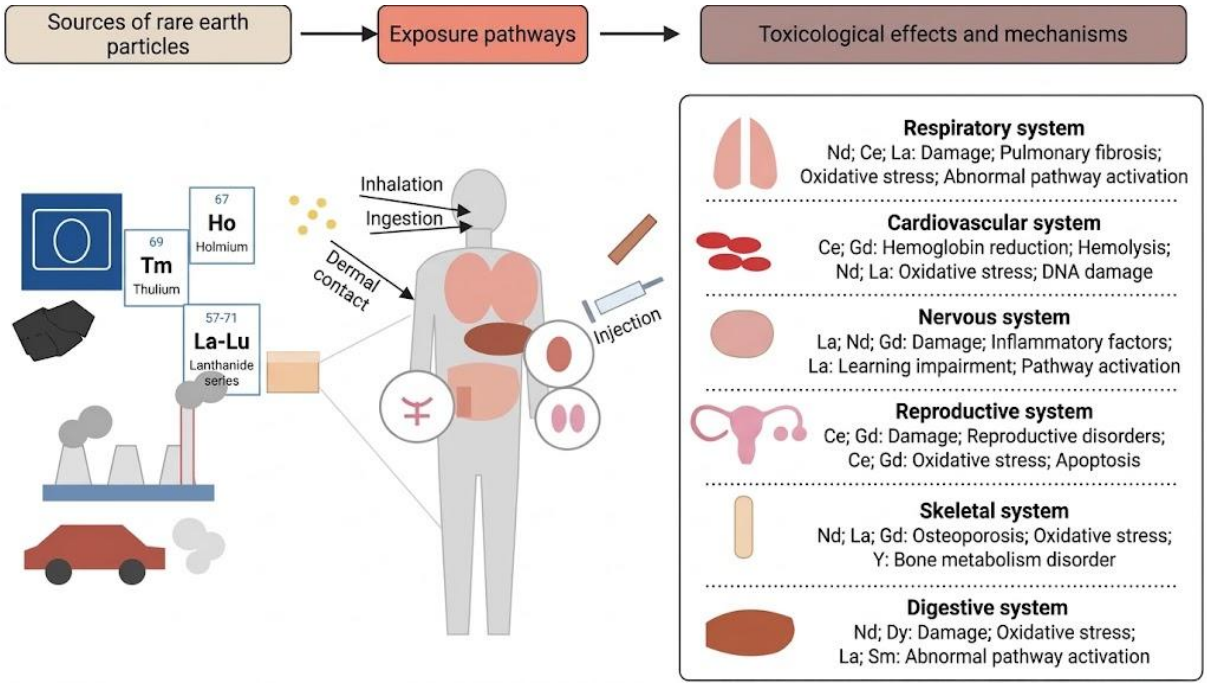


Figure 1. Pathways of rare earth elements (REEs) from environmental sources to the human body and their toxicological effects on target organ systems. (Wang et al., 2024).

3.4. Transfer Along the Food Chain

In line with the studies compiled by Brouziotis et al. (2022) and Wang et al. (2024), the potential for NTEs to transfer to humans through the food chain from aquatic ecosystems has been an increasing research topic in recent years. Although current estimated daily intake (EDI) doses remain below legal limits, the risks of bioaccumulation and the fact that chronic exposure can trigger oxidative stress, DNA damage, and apoptotic pathways at the cellular level are among the most frequently cited risk factors in the literature. This clearly indicates that bioaccumulation monitoring needs to be tightened in future environmental monitoring programs.

4. CONCLUSIONS

In this study, the accumulation and monitoring of rare earth elements (REE) in biological matrices were investigated through bibliometric and thematic trend analyses of the international literature. A strategic evaluation was conducted using existing datasets, without compromising original experimental studies (laboratory analyses). Current reviews supported the idea that REE exposure extends beyond environmental ecotoxicology, posing potential oxidative stress and cellular toxicity to human health via the food chain.

For future research, screening coastal ecosystems in underdeveloped or developing regions for REE contamination is crucial for creating global risk maps. While preserving laboratory facilities, more active use of multivariate statistical models (PCA, HCA, and Response Surface Methodology) on existing data pools will strengthen the methodological infrastructure of future experimental papers. When establishing environmental quality standards at local and national levels, it is recommended that REEs be considered not as individual elements but as pollutant mixtures, and monitoring programs should be updated accordingly.

REFERENCES

Turner, A.; Scott, J.W.; Green, L.A. Rare earth elements in plastics. Sci. Total Environ. 2021, 774, 145405.

Grosjean, N.; Le Jean, M.; Armengaud, J.; Schikora, A.; Chalot, M.; Gross, E.M.; Blaudez, D. Combined omics approaches reveal distinct responses between light and heavy rare earth elements in Saccharomyces cerevisiae. J. Hazard. Mater. 2022, 425, 127830.

Zapp, P.; Schreiber, A.; Marx, J.; Kuckshinrichs, W. Environmental impacts of rare earth production. MRS Bull. 2022, 47, 267–275.

Huo,W.; Zhu, Y.; Li, Z.; Pang, Y.;Wang, B.; Li, Z. A pilot study on the association between rare earth elements in maternal hair and the risk of neural tube defects in north China. Environ. Pollut. 2017, 226, 89–93.

Wang, Z., Yin, L., Xiang, H., Qin, X., & Wang, S. (2019). Accumulation patterns and species-specific characteristics of yttrium and rare earth elements (YREEs) in biological matrices from Maluan Bay, China: Implications for biomonitoring. Environmental Research, 179, 108804.

Brouziotis, A. A., Giarra, A., Libralato, G., Pagano, G., Guida, m., & Trifuoggi, M. (2022). Toxicity of rare earth elements: An overview on human health impact. Frontiers in Environmental Science, 10, 948041.

Wang, W., Yang, Y., Wang, D., & Huang, L. (2024). Toxic Effects of Rare Earth Elements on Human Health: A Review. Toxics, 12(5), 317.

MacMillan, G.A., Chételat, J., Heath, J.P., Mickpegak, R., Amyot, M., 2017. Rare earth elements in freshwater, marine, and terrestrial ecosystems in the eastern Canadian Arctic. Environ. Sci.: Process. Impacts 19 (10), 1336–1345.

Han, Y.; Lee, D.K.; Kim, S.H.; Lee, S.; Jeon, S.; Cho, W.S. High inflammogenic potential of rare earth oxide nanoparticles: The New Hazardous Entity. Nanotoxicology 2018, 12, 712–728.

Gong, H., Jr. Uncommon causes of occupational interstitial lung diseases. Curr. Opin. Pulm. Med. 1996, 2, 405–411.

Censi, P.; Tamburo, E.; Speziale, S.; Zuddas, P.; Randazzo, L.A.; Punturo, R.; Cuttitta, A.; Aricò, P. Yttrium and lanthanides in human lung fluids, probing the exposure to atmospheric fallout. J. Hazard. Mater. 2011, 186, 1103–1110.

Toya, T.; Takata, A.; Otaki, N.; Takaya, M.; Serita, F.; Yoshida, K.; Kohyama, N. Pulmonary toxicity induced by intratracheal instillation of coarse and fine particles of cerium dioxide in male rats. Ind. Health 2010, 48, 3–11.

Nakamura, Y.; Tsumura, Y.; Tonogai, Y.; Shibata, T.; Ito, Y. Differences in behavior among the chlorides of seven rare earth elements administered intravenously to rats. Fundam. Appl. Toxicol. 1997, 37, 106–116.

Zhao, Y.; Liang, J.; Meng, H.; Yin, Y.; Zhen, H.; Zheng, X.; Shi, H.; Wu, X.; Zu, Y.; Wang, B.; et al. Rare Earth Elements Lanthanum and Praseodymium Adversely Affect Neural and Cardiovascular Development in Zebrafish (Danio rerio). Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 1155–1166.

Chen, J.; Xiao, H.J.; Qi, T.; Chen, D.L.; Long, H.M.; Liu, S.H. Rare earths exposure and male infertility: The injury mechanism study of rare earths on male mice and human sperm. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2015, 22, 2076–2086.

Gaman, L.; Radoi, M.P.; Delia, C.E.; Luzardo, O.P.; Zumbado, M.; Rodríguez-Hernández, A.; Stoian, I.; Gilca, M.; Boada, L.D.; Henríquez-Hernández, L.A. Concentration of heavy metals and rare earth elements in patients with brain tumours: Analysis in tumour tissue, non-tumour tissue, and blood. Int. J. Environ. Health Res. 2021, 31, 741–754.

Wei, J.; Wang, C.; Yin, S.; Pi, X.; Jin, L.; Li, Z.; Liu, J.; Wang, L.; Yin, C.; Ren, A. Concentrations of rare earth elements in maternal serum during pregnancy and risk for fetal neural tube defects. Environ. Int. 2020, 137, 105542.
Lin, C.H.; Liu, G.F.; Chen, J.; Chen, Y.; Lin, R.H.; He, H.X.; Chen, J.P. Rare-earth Nanoparticle-induced Cytotoxicity on Spatial Cognition Memory of Mouse Brain. Chin. Med. J. 2017, 130, 2720–2725.
Gaman, L.; Delia, C.E.; Luzardo, O.P.; Zumbado, M.; Badea, M.; Stoian, I.; Gilca, M.; Boada, L.D.; Henriquez-Hernández, L.A. Serum concentration of toxic metals and rare earth elements in children and adolescent. Int. J. Environ. Health Res. 2020, 30, 696–712.
Gao, J.; Wang, S.; Tang, G.; Wang, Z.; Wang, Y.; Wu, Q.; Yang, X.; Liu, Y.; Hu, L.; He, B.; et al. Inflammation and accompanied disrupted hematopoiesis in adult mouse induced by rare earth element nanoparticles. Sci. Total Environ. 2022, 831, 155416.
Chen, Y.; Zhu, W.; Shu, F.; Fan, Y.; Yang, N.; Wu, T.; Ji, L.; Xie, W.; Bade, R.; Jiang, S.; et al. Nd2O3 Nanoparticles Induce Toxicity and Cardiac/Cerebrovascular Abnormality in Zebrafish Embryos via the Apoptosis Pathway. Int. J. Nanomed. 2020, 15, 387–400.
Qin, F.; Shen, T.; Li, J.; Qian, J.; Zhang, J.; Zhou, G.; Tong, J. SF-1 mediates reproductive toxicity induced by Cerium oxide nanoparticles in male mice. J. Nanobiotechnol. 2019, 17, 41.
Ray, J.G.; Vermeulen, M.J.; Bharatha, A.; Montanera, W.J.; Park, A.L. Association Between MRI Exposure During Pregnancy and Fetal and Childhood Outcomes. JAMA 2016, 316, 952–961.
Darrah, T.H.; Prutsman-Pfeiffer, J.J.; Poreda, R.J.; Ellen Campbell, M.; Hauschka, P.V.; Hannigan, R.E. Incorporation of excess gadolinium into human bone from medical contrast agents. Metallomics 2009, 1, 479–488.
Galusha, A.L.; Kruger, P.C.; Howard, L.J.; Parsons, P.J. An assessment of exposure to rare earth elements among patients receiving long-term parenteral nutrition. J. Trace Elem. Med. Biol. 2018, 47, 156–163.
Liu, H.; Liu, H.; Yang, Z.; Wang, K. Bone Mineral Density in Population Long-Term Exposed to Rare Earth Elements from a Mining Area of China. Biol. Trace Elem. Res. 2021, 199, 453–464.
Shankar, V.S.; Alam, A.S.; Bax, C.M.; Bax, B.E.; Pazianas, M.; Huang, C.L.; Zaidi, M. Activation and inactivation of the osteoclast Ca 2+ receptor by the trivalent cation, La 3+. Biochem. Biophys. Res. Commun. 1992, 187, 907–912

CANDİDA ALBİCANS BİYOFİLMİ VE ANTİFUNGAL DİRENÇ: SON 5 YILIN KÜRESEL BİBLİYOMETRİK ANALİZİ (2022–2026)

Research Assistant Sena Nur BAŞARAN
Ağrı İbrahim Çeçen University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Ağrı,Türkiye
Istanbul University, Institute of Graduate Studies in Health Sciences, Istanbul,Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9959-9214

ÖZET
Candida albicans, artan antifungal direnç oranları, güçlü biyofilm oluşturma kapasitesi ve nozokomiyal enfeksiyonlarla sıklıkla ilişkilendirilmesi nedeniyle küresel ölçekte ciddi bir halk sağlığı tehdidi oluşturmaktadır. Bu çalışma, 2022–2026 döneminde *C. albicans* üzerine yürütülen bilimsel araştırmaların genel eğilimlerini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik bir analiz gerçekleştirmektedir. Veriler, 29 Ekim 2026 tarihinde Web of Science veri tabanından elde edilmiş olup yalnızca İngilizce dilinde yayımlanmış özgün araştırma makaleleri çalışmaya dahil edilmiştir. Toplam 2305 yayın arasından filtrelenen 2007 araştırma makalesi analize tabi tutulmuştur. Yazar, kurum ve ülke üretkenliğinin yanı sıra anahtar kelime eş-oluşum yapıları VOSviewer 1.6.20 yazılımı aracılığıyla değerlendirilmiş ve görselleştirilmiştir.
Bulgular, en fazla yayına sahip ülkenin 383 doküman ile Çin olduğu, bunu Hindistan (n=277), Brezilya (n=256) ve Amerika Birleşik Devletleri'nin (n=184) izlediği belirlenmiştir. Macias Paz ve ark.., tarafından 2023 yılında yayımlanan çalışma, 152 atıf ile en çok atıf alan makale olarak öne çıkmıştır. Yazar üretkenliği açısından Lee JH., toplam 28 araştırma makalesi ile alanda en fazla katkı sağlayan araştırmacı olarak tespit edilmiştir. Anahtar kelime analizinde **"***biofilm***"**, "*candida albicans*", "resistance", ve "antifungal activity" terimlerinin araştırma alanının temel kavramlarını oluşturduğu görülmüştür. Yayınların büyük çoğunluğu Biyokimya ve Moleküler Biyoloji, Disiplinlerarası Kimya ve Enfeksiyon Hastalıkları disiplinlerinde yoğunlaşmaktadır.
Sonuç olarak, bu bibliyometrik çalışma son beş yıllık periyotta *C. albicans* biyofilmi ve antifungal direnç alanındaki araştırma dinamiklerini, iş birliği ağlarını ve tematik odakları bütüncül bir perspektifle ortaya koymaktadır. Elde edilen bulguların, gelecekteki klinik ve deneysel çalışmalara, yeni iş birliklerine ve stratejik araştırma önceliklerinin belirlenmesine rehberlik etmesi beklenmektedir.
Anahtar kelimeler: *Candida albicans*, Antifungal direnç, Biyofilm, Bibliyometrik analiz.

CANDIDA ALBICANS BIOFILM AND ANTIFUNGAL RESISTANCE: A FIVE-YEAR GLOBAL BIBLIOMETRIC ANALYSIS (2022–2026)

ABSTRACT
Candida albicans constitutes a significant global public health threat due to increasing antifungal resistance rates, strong biofilm-forming capacity, and frequent association with nosocomial infections. This study aims to present a bibliometric analysis of the general trends in scientific research conducted on *C. albicans* biofilm and antifungal resistance during the 2022–2026 period. The data were retrieved from the Web of Science database on October 29, 2026, and only original research articles published in English were included in the study. Out of a total of 2,305 publications, 2,007 research articles filtered were subjected to analysis. Author, institution, and country productivity, as well as keyword co-occurrence structures, were evaluated and visualized using the VOSviewer 1.6.20 software."

The findings indicated that China had the highest number of publications with 383 documents, followed by India (n=277), Brazil (n=256) and the United States (n=184). The study published by Macias Paz et al. in 2023 stood out as the most cited article with 152 citations. In terms of author productivity, Lee JH. was identified as the researcher contributing the most to the field with a total of 28 research articles. Keyword analysis demonstrated that the terms 'biofilm', 'candida albicans', 'resistance', and 'antifungal activity' constitute the core conceptual components of the research field. The majority of publications are concentrated in the disciplines of Biochemistry & Molecular Biology, Chemistry Multidisciplinary, and Infectious Diseases.
In conclusion, this bibliometric study comprehensively reveals the research dynamics, collaboration networks, and thematic focuses in the field of *C. albicans* biofilm and antifungal resistance over the past five years. The findings are expected to guide future clinical and experimental studies, new collaborations, and the determination of strategic research priorities.
Keywords: *Candida albicans*, Antifungal resistance, Biofilm, Bibliometric analysis.

1. INTRODUCTION

Candida albicans, besides being a commensal member of the human microbiota, is the most common causative agent of life-threatening opportunistic fungal infections, particularly in immunocompromised individuals and intensive care patients. One of the most critical host-pathogen interactions in the pathogenicity of *C. albicans* is its ability to adhere to biological tissues or abiotic surfaces such as catheters, thereby forming complex biofilm ecosystems (Kaur and Nobile 2022; Malinovská et al. 2023). The biofilm architecture embeds fungal cells within a protective matrix composed of extracellular polymeric substances (EPS) (Czajka et al. 2023; Kumar and Kumar 2023). This structure facilitates evasion from the host immune response while conferring significantly increased phenotypic tolerance to antifungal agents compared to free-floating planktonic cells (Atiencia-Carrera et al. 2022; Fan et al. 2022; Kaur and Nobile 2022).
Antifungal resistance represents a growing global threat in the management of nosocomial infections (Czajka et al. 2023; Malinovská et al. 2023; Jayasekara et al. 2026). Resistance in *C. albicans* biofilms relies on multifactorial mechanisms, such as the activity of efflux pumps including CDR1, CDR2, and MDR1, drug sequestration by matrix glucans, ERG11 mutations, and the presence of persister cells (Amann et al. 2025; Squitieri et al. 2025; Dang and Pham 2026). The limited number of azole, echinocandin, and polyene classes, alongside the development of tolerance to current treatments, necessitates the investigation of novel molecular targets and combination strategies (Kaur and Nobile 2022; Amann et al. 2025; Li et al. 2025; Squitieri et al. 2025).
The rapid increase in publications on biofilm research necessitates an objective evaluation of literature trends and collaboration networks (Li et al. 2025; Dang and Pham 2026). However, comprehensively evaluating scientific focal points, collaboration networks, highly impactful publications, and emerging research trends within this vast body of literature remains challenging. Offering a quantitative approach for the qualitative mapping of biological and clinical research, bibliometric analyses objectively reveal global research dynamics, keyword co-occurrences, and author/institution collaborations through international databases such as Web of Science (WoSCC) and visualization tools like VOSviewer (Atiencia-Carrera et al. 2022; De-La-Pinta et al. 2026).
This study aims to investigate the global literature concerning *C. albicans* biofilm and antifungal resistance published during the 2022–2026 period through quantitative bibliometric

techniques. Accordingly, the five-year temporal publication trajectories, leading countries and institutions, prominent investigators, journal dispersion patterns, and principal thematic domains are mapped out to establish a strategic framework for prospective clinical and experimental inquiries.

2. MATERIAL AND METHODS

This study included published research articles that provided sufficient data for statistical evaluations and visualization-based bibliometric analyses. Descriptive analysis methods and bibliometric mapping techniques were utilized for data presentation; accordingly, parameters such as institution, country, author, publication year, title, abstract, and keywords were thoroughly analyzed (Núñez et al. 2019).

The dataset of the study was retrieved from the Web of Science Core Collection (WoSCC) database (Ninkov et al. 2022). The search was conducted on October 29, 2026, and 2,007 articles written in English between 2022 and 2026 were included in the study. The search query used is as follows: TS=(("drug-resistant tuberculosis" OR "drug resistant tuberculosis" OR "multidrug-resistant tuberculosis" OR "multidrug resistant tuberculosis" OR "rifampicin-resistant tuberculosis" OR "rifampin-resistant tuberculosis" OR "extensively drug-resistant tuberculosis" OR "isoniazid-resistant tuberculosis")) AND PY=(2022-2026).

Selected documents were exported from the Web of Science Core Collection database in plain text (.txt) format using the 'full record and cited references' option. To ensure the standardization and consistency of the dataset, data cleaning was performed at the author, institution, and keyword levels, and duplicate records were removed from the dataset. Data analysis and mapping processes were executed using VOSviewer version 1.6.20. (Ju et al. 2025).

Within the scope of the study, co-authorship networks for authors, institutions, and countries were examined to analyze academic collaboration structures. Furthermore, thematic clusters and current trends were identified through keyword co-occurrence analysis, while citation and co-citation methods were employed to delineate the most impactful literature findings and the conceptual architecture of the field (Huang et al. 2024).

3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the analysis, 2,007 research articles were identified between 2022 and 2026. The findings indicate that the highest volume of publications occurred in 2025, accounting for 24.16% (n=485) of the total output. Examination of the annual publication distribution for this five-year period reveals that 384 articles (19.13%) were published in 2022, 367 articles (18.28%) in 2023, 388 articles (19.33%) in 2024, and 485 articles (24.16%) in 2025. The number of articles recorded for 2026 was 383 (19.08%); this numerical decline reflects a temporal limitation stemming from the data retrieval on October 29, 2026, while the year was still ongoing, rather than a methodological downward trend **(Figure 1)**.

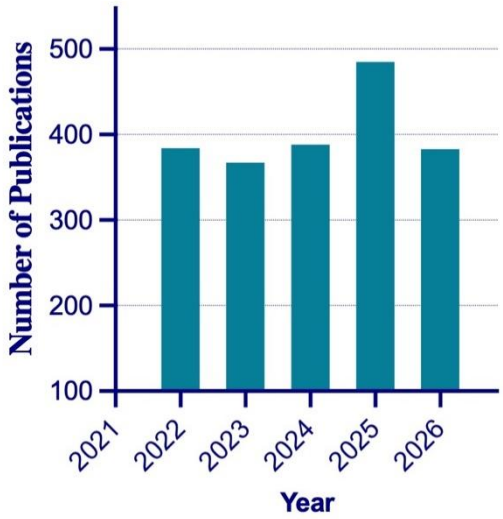


Figure 1. Temporal distribution of publications.

When analyzing the geographical distribution of publications, China emerged as the most productive country with 383 documents, followed by India (n=277), Brazil (n=256) and the United States (n=184) **(Figure 2).**

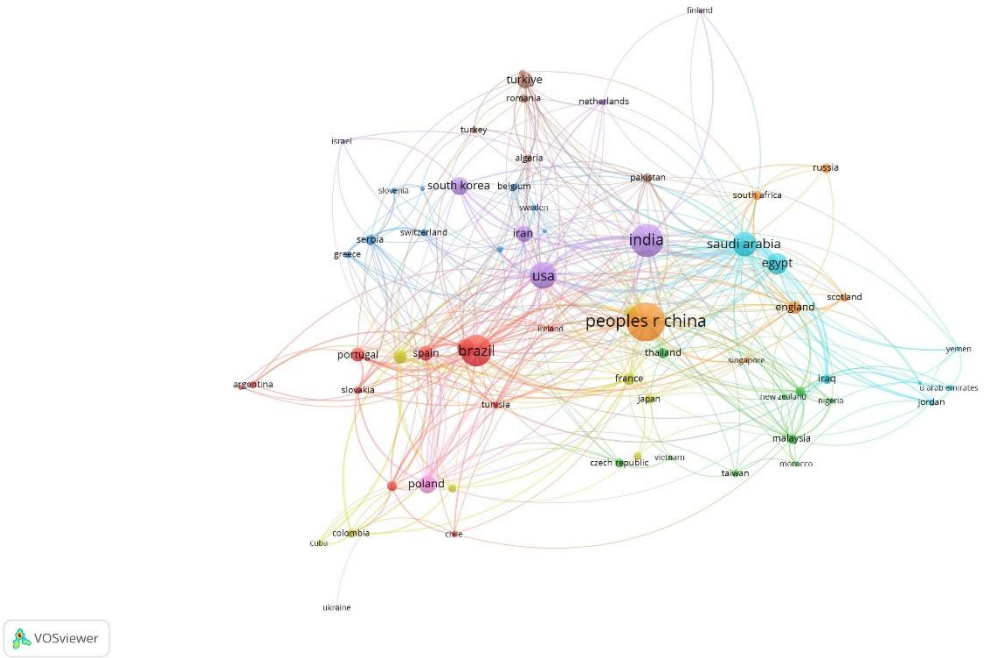


Figure 2. Country distribution of publications.

Based on publication-count productivity analysis, the most prolific researchers in the field of *C. albicans* were identified. A detailed distribution of the top 20 most productive authors is presented **(Figure 3)**. In this context, Lee JH. ranks at the top of the list with a total of 28 research articles. Furthermore, Lee JH. also holds the top position in the list of most cited authors with 398 citations, followed by Lee J. with 393 citations **(Figure 4)**. The study published by Macias Paz et al. in 2023 emerged as the most cited article, accumulating 152 citations.

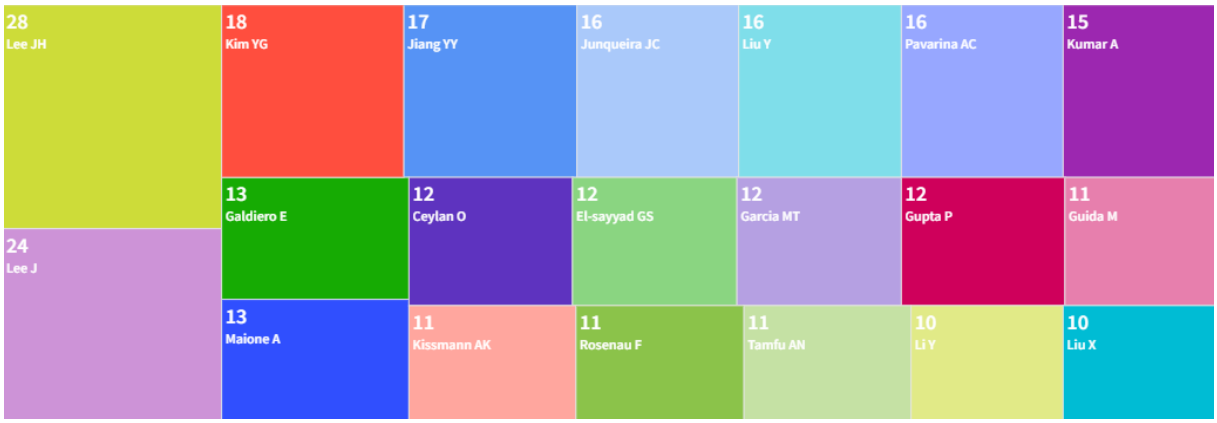


Figure 3. Top 20 most productive researchers.

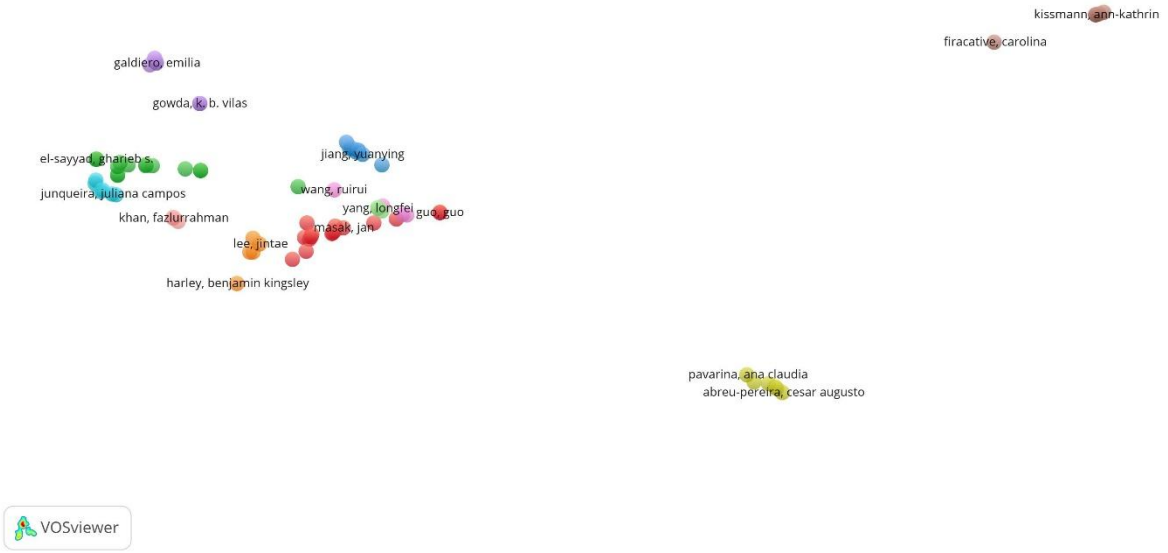


Figure 4. Co-citation and citation network analysis of top-cited researchers.

When examining the citation counts of all publications in the field of *C. albicans*, the study published by Macias Paz et al. in 2023 received the highest number of citations with 152 citations. This is followed by Ivanov (2022) with 113 citations, El Naggar (2023) with 93 citations, and Shehabeldine (2023) with 91 citations **(Figure 5)**.

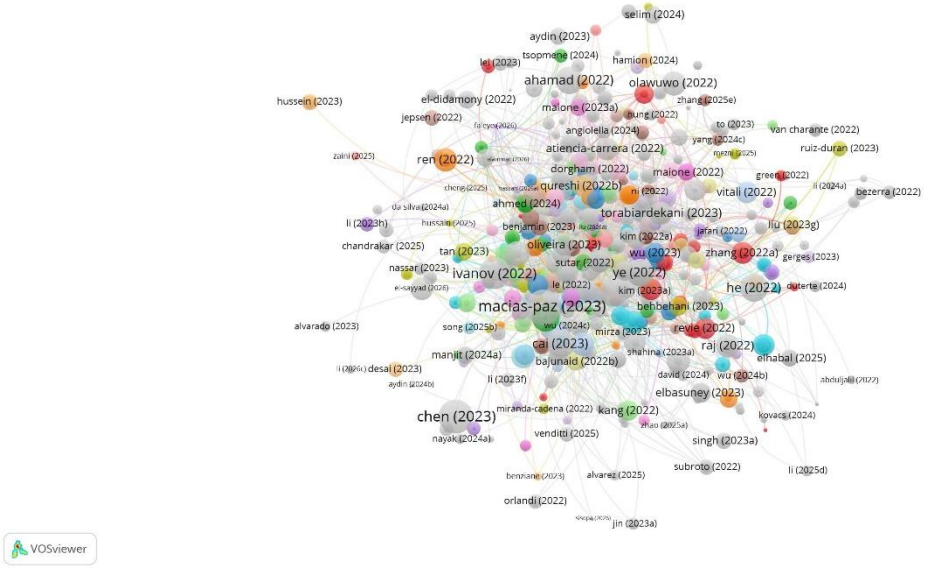


Figure 5. Network analysis of the most cited articles.

The vast majority of publications are concentrated in the disciplines of Biochemistry and Molecular Biology (n=230), Multidisciplinary Chemistry (n=211) and Infectious Diseases (n=159) **(Figure 6).**

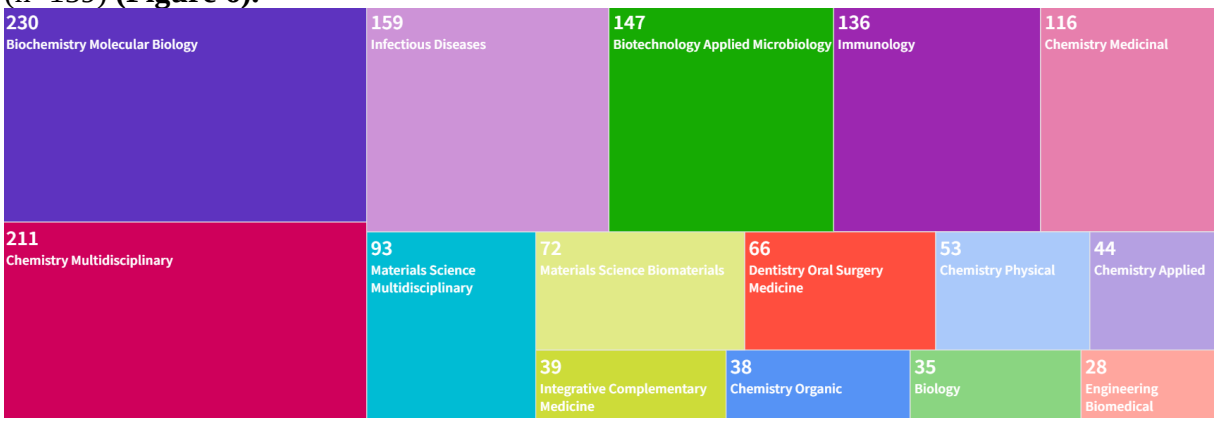


Figure 6. Distribution of articles across subject categories.

Keyword co-occurrence analysis demonstrated that the most frequently encountered concepts in the literature are **"**biofilm (n=1021)**"**, "*candida albicans* (n=949)", "resistance (n=333)", "antifungal activity (n=294)" and "antifungal (n=228)" **(Figure 7).**

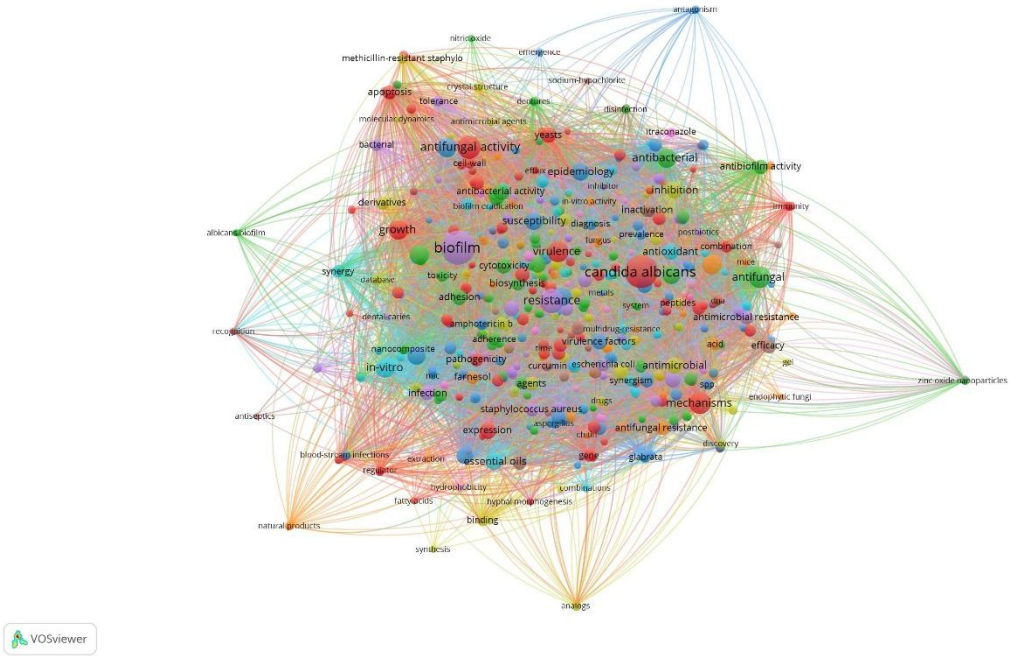


Figure 7. Keyword network and co-occurrence mapping.

4. CONCLUSIONS

This bibliometric analysis comprehensively reveals global research trends and scientific development dynamics within the field of *Candida albicans* biofilm and antifungal resistance between 2022 and 2026. The findings indicate that academic interest in this area is steadily increasing, reaching its peak with the highest publication volume recorded in 2025 (*n=485*) Geographical distribution analyses demonstrate that Asian countries, spearheaded by China, alongside India, Brazil, and the United States, lead the global literature and occupy central positions in international collaboration networks. Furthermore, author productivity and citation analyses highlight the most influential research groups and landmark, high-impact publications in the field.

Keyword co-occurrence mapping and disciplinary distribution data confirm that the thematic structure of the research is primarily shaped around the concepts of *biofilm*, *candida albicans*, *resistance*, and *antifungal activity*. The predominant concentration of publications in Biochemistry and Molecular Biology, Multidisciplinary Chemistry, and Infectious Diseases clearly indicates that investigations into the molecular basis of *C. albicans* biofilm resistance are conducted through a multidisciplinary approach. This underscores the critical role of cross-disciplinary partnerships in translating fundamental microbiological findings into clinical applications and developing next-generation antifungal therapeutic strategies.

In conclusion, this study evaluates the scientific productivity, thematic trends, and academic collaboration structures in the field of *C. albicans* biofilm and antifungal resistance over the past five-year period from a holistic perspective. The obtained quantitative data and mapping results provide a strategic framework to guide prospective experimental and clinical research, identify remaining knowledge gaps, and establish novel scientific collaborations.

REFERENCES

Amann V, Kissmann A-K, Firacative C, Rosenau F (2025) Biofilm-Associated Candidiasis: Pathogenesis, Prevalence, Challenges and Therapeutic Options. Pharmaceuticals 18:. https://doi.org/10.3390/ph18040460

Atiencia-Carrera MB, Cabezas-Mera F, Tejera E, Machado A (2022) Prevalence of biofilms in Candida spp. bloodstream infections: A meta-analysis. PLoS One 17:. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263522

Czajka K, Venkataraman K, Brabant-Kirwan D, et al (2023) Molecular Mechanisms Associated with Antifungal Resistance in Pathogenic Candida Species. Cells 12:. https://doi.org/10.3390/cells12222655

Dang TA, Pham U (2026) Mechanisms and species-specific patterns of ECM-mediated antifungal resistance in Candida biofilms: a systematic review and exploratory quantitative synthesis. Future Microbiol 1–12. https://doi.org/10.1080/17460913.2026.2678152

De-La-Pinta I, Marcos-Arias C, Sevillano E, et al (2026) Emergent Candida Species on Healthcare Surfaces: Abiotic Reservoirs as a Source of Invasive Candidiasis. Microorganisms 14:. https://doi.org/10.3390/microorganisms14020367

Fan F-M, Liu Y, Liu Y-Q, et al (2022) C. albicans biofilms: antifungal resistance, immune evasion, and emerging therapeutic strategies. Int J Antimicrob Agents 106673. https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2022.106673

Huang CL, Fu XY, Feng Y, et al (2024) Relationship between the microenvironment and survival in kidney transplantation: a bibliometric analysis from 2013 to 2023. Front. Immunol. 15

Jayasekara L, Watchaputi K, Butkinaree C, Soontorngun N (2026) Overcoming Candida albicans biofilm drug resistance via azole-sophorolipid synergy. Sci Rep 16:. https://doi.org/10.1038/s41598-026-36278-8

Ju C, Yang L, Wang X, et al (2025) Minimal hepatic encephalopathy: a bibliometric analysis (1999–2023). Current Psychology 44:5054–5067. https://doi.org/10.1007/s12144-025-07495-7

Kaur J, Nobile C (2022) Antifungal drug-resistance mechanisms in Candida biofilms. Curr Opin Microbiol 71:102237. https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102237

Kumar D, Kumar A (2023) Cellular Attributes of Candida albicans Biofilm-Associated in Resistance Against Multidrug and Host Immune System. Microbial Drug Resistance 29:423–437. https://doi.org/10.1089/mdr.2022.0347

Li Y, Hind C, Furner-Pardoe J, et al (2025) Understanding the mechanisms of resistance to azole antifungals in Candida species. JAC Antimicrob Resist 7:. https://doi.org/10.1093/jacamr/dlaf106

Malinovská Z, Čonková E, Váczi P (2023) Biofilm Formation in Medically Important Candida Species. Journal of Fungi 9:. https://doi.org/10.3390/jof9100955

Ninkov A, Frank JR, Maggio LA (2022) Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. Perspect Med Educ 11:173–176. https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4

Núñez R, Allen M, Gao R, et al (2019) What happened to cognitive science? Nat. Hum. Behav. 3:782–791

Squitieri D, Rizzo S, Torelli R, et al (2025) Studying Candida Biofilms Across Species: Experimental Models, Structural Diversity, and Clinical Implications. Pharmaceuticals 19:. https://doi.org/10.3390/ph19010008

İLACA DİRENÇLİ TÜBERKÜLOZ ALANINDAKİ KÜRESEL ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ: BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ (2022–2026)

Research Assistant Sena Nur BAŞARAN
Ağrı İbrahim Çeçen University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Ağrı,Türkiye
Istanbul University, Institute of Graduate Studies in Health Sciences, Istanbul,Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9959-9214

ÖZET
Tüberküloz, *Mycobacterium tuberculosis* kompleksinin neden olduğu ve ilaca direnç gelişiminin de etkisiyle küresel ölçekte önemli morbidite ve mortalite yükü oluşturan bulaşıcı bir hastalıktır. Bu çalışma, 2022–2026 döneminde ilaca dirençli tüberküloz üzerine yürütülen bilimsel araştırmaların genel eğilimlerini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik bir analiz gerçekleştirmektedir. Veriler, 29 Ekim 2026 tarihinde Web of Science veri tabanından elde edilmiş olup yalnızca İngilizce dilinde yayımlanmış özgün araştırma makaleleri çalışmaya dahil edilmiştir. Toplam 3392 yayın arasından 2581 araştırma makalesi analize tabi tutulmuştur. Anahtar kelime eş-oluşumu, yazar, kurum ve ülke üretkenliği gibi standart bibliyometrik göstergeler VOSviewer 1.6.20 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve anahtar kelime ağ yapıları görselleştirilmiştir.
Bulgular, en yüksek yayın sayısının 2025 yılında %22,43 (n=579) oranıyla gerçekleştiğini göstermektedir. En fazla yayına sahip ülkenin 603 doküman ile Çin olduğu, bunu Amerika Birleşik Devletleri (n=536), Hindistan (n=445) ve Güney Afrika'nın (n=377) izlediği belirlenmiştir. Christopher Murrayyer tarafından 2022 yılında yayımlanan çalışma, 10960 atıf ile en çok atıf alan makale olarak öne çıkmıştır. Yazar üretkenliği açısından Hesseling AC. toplam 38 araştırma makalesi ile alanda en fazla katkı sağlayan araştırmacı olarak tespit edilmiştir. Anahtar kelime analizinde **"***tuberculosis***"**, "*multidrug resistant tuberculosis*", "drug resistant tuberculosis", "drug resistant" ve "bedaquiline" terimlerinin araştırma alanının temel kavramlarını oluşturduğu görülmüştür. Yayınların büyük çoğunluğu Enfeksiyon Hastalıkları, Mikrobiyoloji ve Farmakoloji ile Eczacılık disiplinlerinde yoğunlaşmaktadır.
Bu bibliyometrik çalışma, ilaca dirençli tüberküloz ile ilgili araştırma dinamiklerini, bilimsel iş birliği ağlarını ve tematik odakları kapsamlı biçimde ortaya koyarak, gelecekteki klinik ve deneysel çalışmalar için stratejik yönlendirmeler sağlamaktadır.
Anahtar kelimeler: *Mycobacterium tuberculosis*, İlaca dirençli tüberküloz, Antimikrobiyal direnç, Bibliyometrik analiz.

GLOBAL RESEARCH TRENDS IN DRUG-RESISTANT TUBERCULOSIS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS (2022–2026)

ABSTRACT
Tuberculosis, caused by members of the *Mycobacterium tuberculosis* complex, remains an infectious disease associated with a substantial global burden of morbidity and mortality, further complicated by the emergence and spread of drug resistance. This study conducted a bibliometric analysis to characterize the overall research trends in drug-resistant tuberculosis between 2022 and 2026. Data were retrieved from the Web of Science database on October 29, 2026, and only original research articles published in English were included. Of 3,392 retrieved publications, 2,581 research articles were included in the analysis. Standard bibliometric

indicators, including keyword co-occurrence, and author, institutional, and country productivity, were evaluated using VOSviewer version 1.6.20, and keyword network structures were visualized.
The findings showed that the highest number of publications was recorded in 2025, accounting for 22.43% (n = 579) of the included articles. China was the most productive country, with 603 publications, followed by the United States (n = 536), India (n = 445), and South Africa (n = 377). A study published by Christopher Murray and colleagues in 2022 emerged as the most highly cited publication, receiving 10,960 citations. Regarding author productivity, Hesseling AC was identified as the most prolific researcher in the field, contributing 38 research articles. Keyword analysis revealed that *"tuberculosis," "multidrug-resistant tuberculosis," "drug-resistant tuberculosis," "drug resistant,"* and *"bedaquiline"* constituted the core concepts of the research field. Publications were predominantly concentrated within the disciplines of Infectious Diseases, Microbiology, and Pharmacology and Pharmacy.
This bibliometric study comprehensively maps the research dynamics, scientific collaboration networks, and thematic priorities related to drug-resistant tuberculosis, providing a strategic perspective for future clinical and experimental research.
Keywords: *Mycobacterium tuberculosis*, Drug-resistant tuberculosis, Antimicrobial resistance, Bibliometric analysis

1. INTRODUCTION

Tuberculosis is a communicable disease caused by the *Mycobacterium tuberculosis* complex and continues to be a significant global public health issue (Lee et al. 2025; Walzl et al. 2026; Zenner et al. 2026). Despite advances in diagnosis and treatment, tuberculosis causes significant morbidity and mortality worldwide (Tan et al. 2025; Walzl et al. 2026). According to the World Health Organization (WHO) 2025 Global Tuberculosis Report, an estimated 10.7 million individuals were diagnosed with tuberculosis in 2024, resulting in 1.23 million deaths due to associated complications (Walzl et al. 2026; Zenner et al. 2026; Zhang et al. 2026). This picture highlights the importance of controlling the resistance that develops against anti-tuberculosis drugs within the global fight against tuberculosis (Tan et al. 2025; Zenner et al. 2026).
Drug-resistant tuberculosis (DR-TB) is a significant clinical issue that arises when the *M. tuberculosis* complex develops resistance to one or more antituberculosis drugs and complicates treatment (Seung et al. 2015; Dheda et al. 2024; Cui et al. 2025). Accordingly, multidrug-resistant tuberculosis (MDR-TB), rifampicin-resistant tuberculosis (RR-TB), and extensively drug-resistant tuberculosis (XDR-TB) constitute priority drug-resistance categories from a global health perspective (Viney et al. 2021; Chen et al. 2024; Dheda et al. 2024). Based on WHO data, an estimated 390,000 MDR/RR-TB cases developed globally in 2024, with a treatment coverage rate of 42% among this patient population (Zenner et al. 2026; Zhang et al. 2026). Although MDR-TB accounts for only a small fraction of tuberculosis cases, its mortality rate is significantly higher (Chen et al. 2024; Dheda et al. 2024). Cure rates drop as low as 63% in MDR-TB and 34% in XDR-TB; treatment success for XDR-TB has been reported as 44.2% in some meta-analyses. The WHO added rifampicin-resistant *M. tuberculosis* to its critical priority pathogen list in 2024 (Chen et al. 2024).
Targeted next-generation sequencing (tNGS) can rapidly and simultaneously detect resistance-associated mutations across multiple gene targets. In a meta-analysis, the pooled sensitivity and specificity for all drugs were found to be 94.1% and 98.1%, respectively, with rifampicin sensitivity reaching 99.1% (Schwab et al. 2024). A multicenter evaluation highlighted that tNGS stands out as the sole WHO-endorsed rapid diagnostic class capable of identifying

bedaquiline and linezolid resistance, although the sensitivity for linezolid remains under 50% (Colman et al. 2024). Line probe assays have demonstrated lower sensitivity compared to tNGS (Carpi et al. 2025).

The BPaL regimen has demonstrated an efficacy of up to 90% in highly resistant TB; favorable outcomes of 84–93% were achieved across four dose arms in the ZeNix trial. The optimal risk-benefit balance was observed in the 600 mg linezolid arm for 26 weeks (Conradie et al. 2022). A favorable outcome of 90% was reported at 6 months in Nix-TB (Conradie et al. 2020) . In contrast, bedaquiline resistance was found to be 5.7% globally and 10.4% in South Africa, while Rv0678 mutations reached up to 65.6% of the cases (Hu et al. 2025). Pretomanid resistance has been associated with *ddn* and *fgd1* mutations, yet the mechanisms remain insufficiently elucidated (Kumar et al. 2025).

The advancement in both the number and scope of scientific studies conducted on drug-resistant tuberculosis necessitates a systematic evaluation of research trends in this field. Bibliometric analyses are quantitative methods that allow for the examination of scientific publication output, leading authors, institutions and countries, international collaborations, citation relationships, and the thematic structuring of research areas. Furthermore, through keyword co-occurrence analyses, they contribute to the identification of core topics and emerging scientific trends within the research field (Duan 2024; Ding 2025).

This study aims to evaluate global research trends through a bibliometric analysis of scientific literature on drug-resistant tuberculosis published from 2022 to 2026. In this context, the study assesses the temporal distribution of publications, prominent authors, institutions, and countries, alongside scientific collaborations, citation patterns, and keyword co-occurrence networks. Ultimately, it seeks to delineate the contemporary scientific architecture in drug-resistant tuberculosis and present insights into future research priorities.

2. MATERIAL AND METHODS

This study included peer-reviewed original articles providing full-record and reference data for statistical and visualization-based bibliometric analyses (Brown-Appenzeller et al. 2026) . In presenting the bibliometric data, co-occurrence analyses such as country, author, publication year, title, abstract, and keywords were evaluated; network maps, collaboration networks such as co-authorship and co-citation, along with the most influential publications and scientific structures in the field, were revealed (Lazarides et al. 2023; Xu and Feng).

Data for this bibliometric study were obtained from the Web of Science Core Collection (WoSCC) database (Ninkov et al. 2022). The keyword search query was executed on October 29, 2026, and 2,581 research articles in English published between 2022 and 2026 were included in the study. The search query used is as follows: TS=(("drug-resistant tuberculosis" OR "drug resistant tuberculosis" OR "multidrug-resistant tuberculosis" OR "multidrug resistant tuberculosis" OR "rifampicin-resistant tuberculosis" OR "rifampin-resistant tuberculosis" OR "extensively drug-resistant tuberculosis" OR "isoniazid-resistant tuberculosis")) AND PY=(2022-2026). The selected publications were exported from WoSCC in (.txt) format as full records and cited references. The dataset was cleaned to ensure consistency across author names, institution names, and keywords, and duplicate records were removed. VOSviewer 1.6.20 software was utilized for data analysis (Ju et al. 2025). Keywords representing the same concept, including spelling variants, singular/plural forms, abbreviations, and similar variations, were merged using a thesaurus file.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the analysis, 2,581 research articles were identified between 2022 and 2026. When examining the annual distribution of publications for the past five-year period, it is observed

that 521 articles (20.18%) were published in 2022, 475 articles (18.4%) in 2023, 535 articles (20.73%) in 2024, 579 articles (22.43%) in 2025, and 471 articles (18.25%) in 2026 **(Figure 1)**. The lower number of publications recorded for 2026 does not reflect a true declining trend; rather, it stems from the fact that the current year is not yet complete and the data were retrieved from the WoSCC system on October 29, 2026.

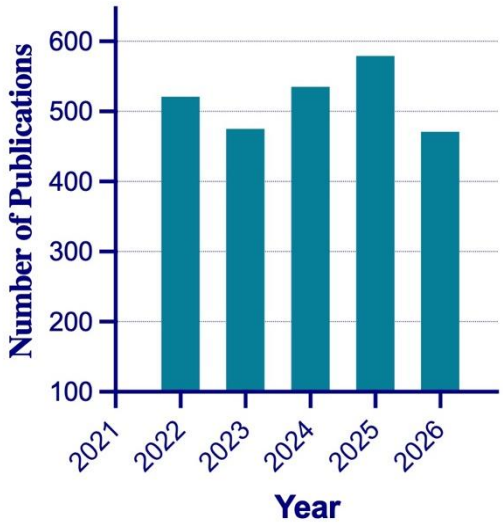


Figure 1. Distribution of publication counts by years.

When examining the country distribution of publications, it was determined that the country with the highest number of publications is China with 603 documents, followed by the United States (n=536), India (n=445) and South Africa (n=377) **(Figure 2)**.

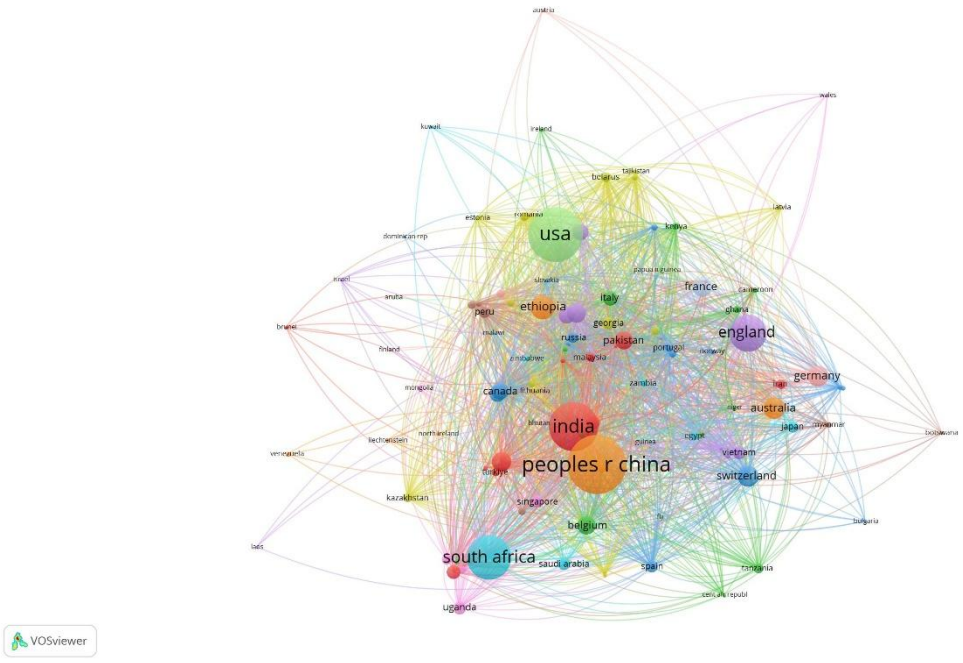


Figure 2. Distribution of publications by countries

According to the productivity analysis based on the number of publications, researchers with the highest publication output in the field of drug-resistant tuberculosis were identified, and the detailed distribution regarding the top 20 most productive researchers is presented **(Figure 3)**. In this context, Hesseling AC. leads the list with a total of 38 research articles. Furthermore, Guy Thwaites ranks first on the list of most-cited authors with 11,026 citations, followed by Christopher Murray with 10,996 citations



Figure 3. Top 20 most productive researchers.

(Figure 4).

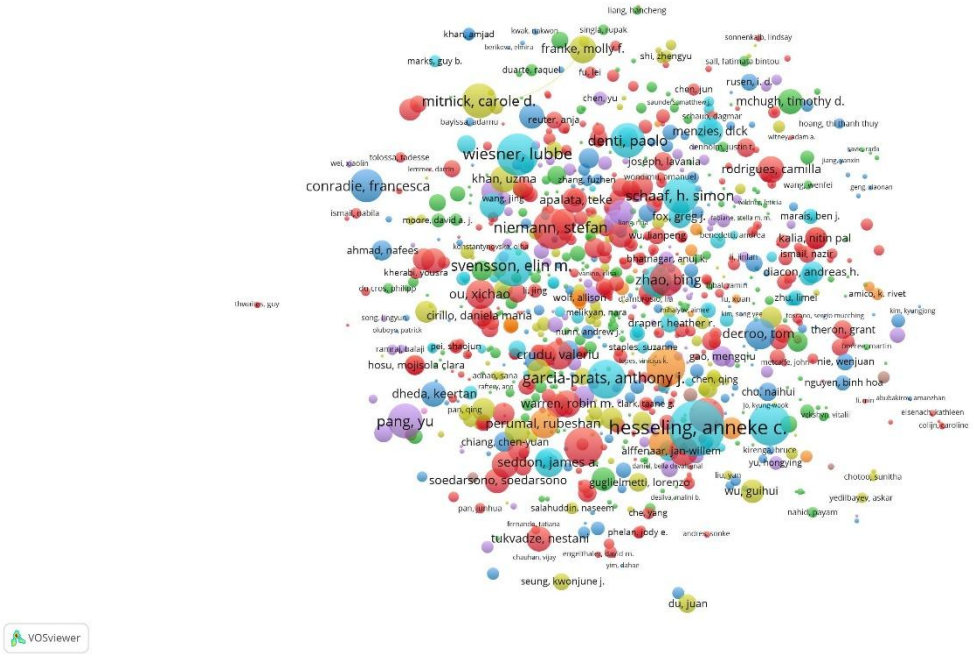


Figure 4. Network analysis of the most-cited authors.

When examining the citation counts of all publications in the field of drug-resistant tuberculosis, the study published in 2022 by Christopher Murray et al. received the highest number of citations with 10,960 citations. It is followed respectively by Conraide et al. (2022) with 439 citations, Nyang'wa (2022) with 293 citations, and Trajman (2025) with 172 citations

(Figure 5).

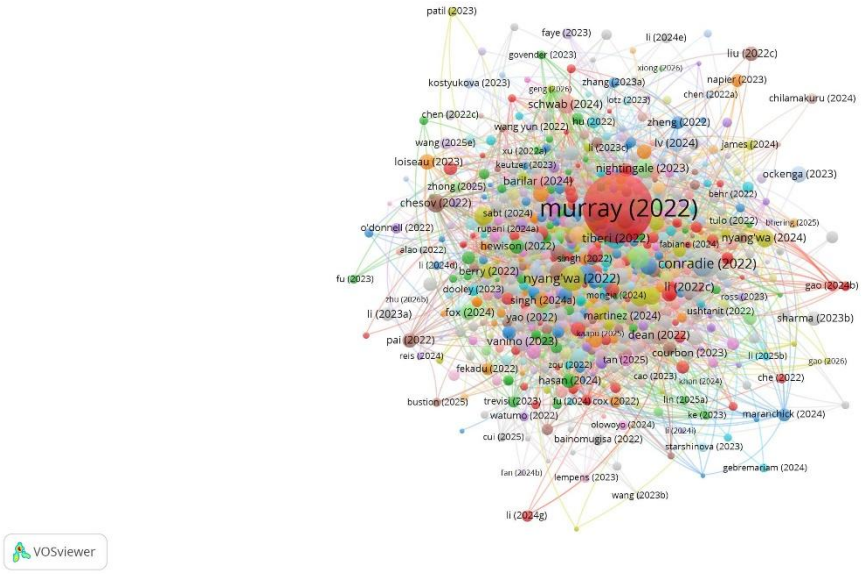


Figure 5. Network analysis of the most-cited articles.

Publications are predominantly clustered within Infectious Diseases (n=755), Microbiology (n=615) and Pharmacology & Pharmacy (n=381) with subsequent contributions from Public, Environmental & Occupational Health (n=320) and General & Internal Medicine (n=221) **(Figure 6)**.

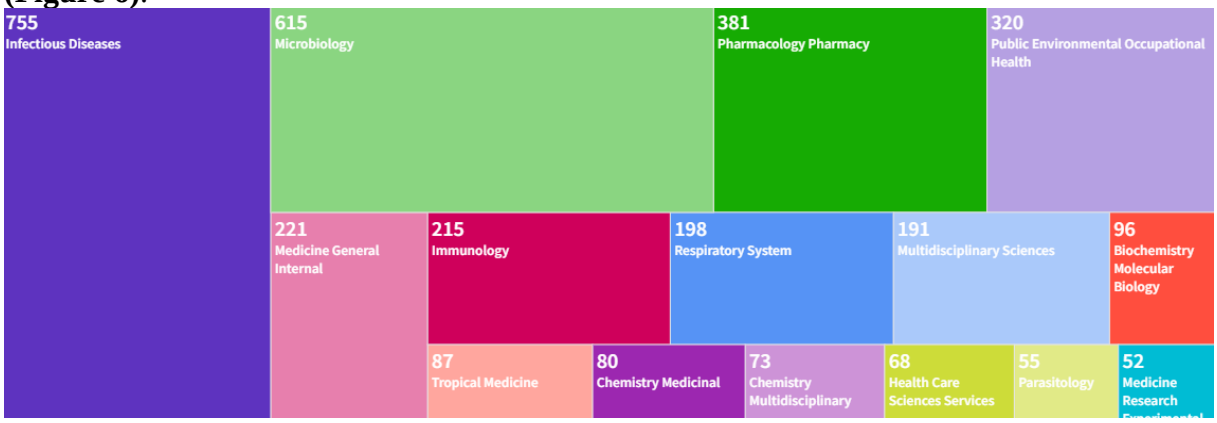


Figure 6. Articles by subject category.

Keyword co-occurrence analysis demonstrated that the most frequently encountered concepts in the literature are **"***tuberculosis* (n=1382)**"**, "*multidrug resistant tuberculosis* (n=724)", "drug resistant tuberculosis (n=477)", "drug resistant (n=344)" and "bedaquiline (n=301)"

(Figure7).

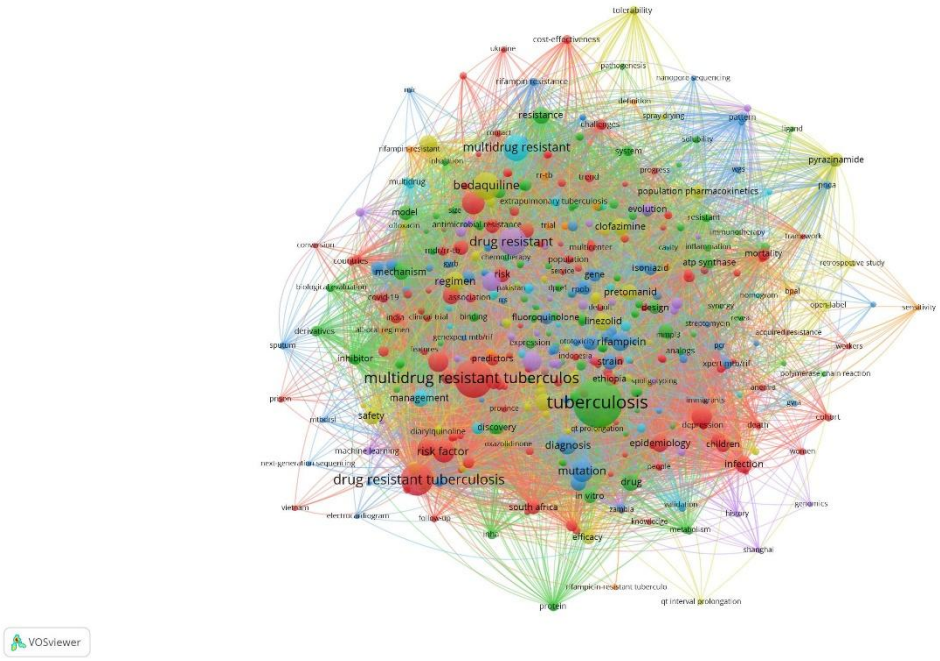


Figure 7. Keyword co-occurrence network analysis.

4. CONCLUSIONS

This bibliometric analysis provides a comprehensive overview of global research trends in the field of drug-resistant tuberculosis between 2022 and 2026. The findings indicate that scientific interest in this field remains sustained, with publication output reaching its highest level in 2025, while noting that 2026 should not be overlooked given that the year is ongoing. In the geographical distribution of publications, China emerges as the most productive country, followed by the United States, India, and South Africa. This demonstrates that these respective countries have made significant contributions to the current scientific landscape of drug-resistant tuberculosis research in recent years.

The analysis of author productivity and citation patterns has revealed the leading researchers and high-impact publications in the field. The prominence of specific researchers and highly cited works points to the existence of influential scientific networks and foundational publications that shape current research directions.

Keyword co-occurrence analysis demonstrated that the terms 'tuberculosis', 'multidrug-resistant tuberculosis', 'drug-resistant tuberculosis', 'drug-resistant', and 'bedaquiline' constitute the primary thematic foci within the research field. The prominence of these concepts reveals that multidrug resistance retains its significance and that scientific interest in therapeutic approaches involving novel antituberculosis agents is increasing. Furthermore, the concentration of publications within the fields of Infectious Diseases, Microbiology, and Pharmacology & Pharmacy emphasizes the multidisciplinary nature of drug-resistant tuberculosis research.

In conclusion, this study evaluates the current scientific structure in the field of drug-resistant tuberculosis by revealing publication trends, leading countries and researchers, influential

publications, and core thematic foci. The obtained findings are expected to contribute to a better understanding of shifting trends in the research field and to provide a framework for future clinical and experimental studies, the development of scientific collaborations, and the identification of new research priorities

REFERENCES

Brown-Appenzeller DD, Sheth SP, Coogan S, et al (2026) Bibliometric Analysis of the Thematic, Structural, and Social Aspects of Research in Dance Medicine and Dance Science from 2007 to 2024. Journal of Dance Medicine and Science 30:308–321. https://doi.org/10.1177/1089313X251362365

Carpi G, Seifert M, De La Rossa A, et al (2025) Comparative assessment of line probe assays and targeted next-generation sequencing in drug-resistant tuberculosis diagnosis. EBioMedicine 119:. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2025.105875

Chen Y-M, Chen W, Cheng Z-L, et al (2024) Global burden of HIV-negative multidrug- and extensively drug-resistant tuberculosis based on Global Burden of Disease Study 2021. Science in One Health 3:. https://doi.org/10.1016/j.soh.2024.100072

Colman R, Seifert M, De La Rossa A, et al (2024) Evaluating culture-free targeted next-generation sequencing for diagnosing drug-resistant tuberculosis: a multicentre clinical study of two end-to-end commercial workflows. Lancet Infect Dis 25:325–334. https://doi.org/10.1016/s1473-3099(24)00586-3

Conradie F, Bagdasaryan T, Borisov S, et al (2022) Bedaquiline–Pretomanid–Linezolid Regimens for Drug-Resistant Tuberculosis. N Engl J Med 387:810–823. https://doi.org/10.1056/nejmoa2119430

Conradie F, Diacon A, Ngubane N, et al (2020) Bedaquiline, pretomanid and linezolid for treatment of extensively drug resistant, intolerant or non-responsive multidrug resistant pulmonary tuberculosis. N Engl J Med 382:893–902. https://doi.org/10.1056/nejmoa1901814

Cui K, Zhao X, Liu W, Bai L (2025) Global, regional, and national burden and trends of multidrug-resistant tuberculosis and extensively drug-resistant tuberculosis in adolescents and adults aged 15–49 years from 2010 to 2021: insights from the global burden of disease study 2021. BMC Med 23:. https://doi.org/10.1186/s12916-025-04269-7

Dheda K, Mirzayev F, Cirillo D, et al (2024) Multidrug-resistant tuberculosis. Nat Rev Dis Primers 10:22. https://doi.org/10.1038/s41572-024-00504-2

Ding S (2025) Insights into bibliometric analyses. JBI Evid Synth 23 4:564–565. https://doi.org/10.11124/jbies-24-00522

Duan C (2024) Analyses of Scientific Collaboration Networks among Authors, Institutions, and Countries in FinTech Studies: A Bibliometric Review. FinTech. https://doi.org/10.3390/fintech3020015

Hu X-Y, Wu Z, Lei J, et al (2025) Prevalence of bedaquiline resistance in patients with drug-resistant tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. BMC Infect Dis 25:. https://doi.org/10.1186/s12879-025-11067-2

Ju C, Yang L, Wang X, et al (2025) Minimal hepatic encephalopathy: a bibliometric analysis (1999–2023). Current Psychology 44:5054–5067. https://doi.org/10.1007/s12144-025-07495-7

Kumar R, Sohal JS, Singh A, Chauhan D (2025) Pretomanid for the treatment of drug resistant pulmonary tuberculosis: a comprehensive review. Arch Microbiol 208:. https://doi.org/10.1007/s00203-025-04508-8

Lazarides M, Lazaridou I, Papanas N (2023) Bibliometric Analysis: Bridging Informatics With Science. Int J Low Extrem Wounds 24:515–517. https://doi.org/10.1177/15347346231153538

Lee H, Kim J, Kim J, Park Y (2025) Review of the Global Burden of Tuberculosis in 2023: Insights from the WHO Global Tuberculosis Report 2024. Public Health Weekly Report 18:55–69. https://doi.org/10.56786/phwr.2025.18.11suppl.5

Ninkov A, Frank JR, Maggio LA (2022) Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. Perspect Med Educ 11:173–176. https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4

Schwab T, Perrig L, Göller P, et al (2024) Targeted next-generation sequencing to diagnose drug-resistant tuberculosis: systematic review and test accuracy meta-analysis. Lancet Infect Dis 24:1162–1176. https://doi.org/10.1016/s1473-3099(24)00263-9

Seung K, Keshavjee S, Rich M (2015) Multidrug-Resistant Tuberculosis and Extensively Drug-Resistant Tuberculosis. Cold Spring Harb Perspect Med 5 9: https://doi.org/10.1101/cshperspect.a017863

Tan E-L, Qin Y, Yang J, et al (2025) Global burden of MDR-TB and XDR-TB: trends, inequities, and future implications for public health planning. BMC Infect Dis 25:. https://doi.org/10.1186/s12879-025-11566-2

Viney K, Nguyễn L, Gegia M, et al (2021) New definitions of pre-extensively and extensively drug-resistant tuberculosis: update from the World Health Organization. European Respiratory Journal 57:. https://doi.org/10.1183/13993003.00361-2021

Walzl G, Goletti D, Zumla A (2026) The Global Epidemiology of Tuberculosis: Burden, Trends, and Determinants. Cold Spring Harb Perspect Med. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041982

Xu X, Feng C Mapping the knowledge domain of the evolution of emergy theory: a bibliometric approach. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14959-3/Published

Zenner D, Hui D, Sahu S, et al (2026) State of the global tuberculosis epidemic: burden, progress towards WHO End TB Strategy targets and systemic challenges. Lancet Microbe 101433. https://doi.org/10.1016/j.lanmic.2026.101433

Zhang M-M, Tian Y, Gao B-R, et al (2026) Interpretation of the Global Tuberculosis Report 2025: Global Epidemic Trends and China's Control Strategy. Zoonoses. https://doi.org/10.15212/zoonoses-2026-0002

SANAL GERÇEKLİK TABANLI EBELİK EĞİTİMİ VE PERİNE KORUMA PAKETİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Ebe Emine Nur DAĞ
Aksaray Merkez Taşpınar Aile Sağlığı Merkezi, Merkez, Aksaray, Türkiye,
ORCID: 0000-0001-7436-8287
Prof. Dr. Gülbahtiyar DEMİREL
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, 58140 Kampus, Sivas, Türkiye,
ORCID: 0000-0003-2258-7757

ÖZET
Ebelik, teorik bilgi ile klinik uygulamanın bütünleşmesini gerektiren pratik ağırlıklı bir disiplindir. Vajinal doğumların yaklaşık %85'inde görülen perineal travmaların önlenmesi ebelik bakımının temel hedeflerindendir. Ancak artan öğrenci sayıları, yetersiz klinik alanlar, hasta güvenliği kaygıları ve geleneksel maketlerin dokunma (haptik) geri bildirimi sunamaması gibi kısıtlılıklar, öğrencilerin klinik deneyim kazanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca doğum eyleminin dışarıdan doğrudan gözlemlenemeyen dinamik yapısı kavramsal öğrenmeyi kısıtlamaktadır.
Sanal gerçeklik (VR) temelli eğitimler, yüksek risk gerektiren girişimlerin öğretiminde bilişsel ve psikomotor yetkinliği artıran yenilikçi bir çözümdür. VR teknolojisi; fetal rotasyon gibi soyut süreçleri üç boyutlu görselleştirerek kavramsal öğrenmeyi pekiştirmekte, haptik geri bildirimler sayesinde ise gerçeğe yakın doku hissi ile epizyotomi ve sütür pratiği imkânı sunmaktadır. Literatür; VR tabanlı eğitimlerin ciddi perineal yırtık oranlarını düşürdüğünü, öğrencilerin klinik beceri ve öz-yeterliliklerini artırırken anksiyetelerini azalttığını göstermektedir. Bu çalışma, ebelik eğitiminde kanıta dayalı perine koruma paketi bileşenlerini ve sanal gerçeklik tabanlı eğitim yaklaşımlarını güncel literatür doğrultusunda ele alarak sağlık profesyonellerine rehberlik etmek amacıyla hazırlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Ebelik eğitimi, epizyotomi, perine koruma paketi, sanal gerçeklik, simülasyon.

VIRTUAL REALITY-BASED MIDWIFERY TRAINING AND PERINEAL PROTECTION PACKAGES: CURRENT APPROACHES

ABSTRACT
Midwifery is a practice-oriented discipline that requires the integration of theoretical knowledge with clinical practice. The prevention of perineal trauma, which is observed in approximately 85% of vaginal births, is among the primary goals of midwifery care. However, limitations such as the increasing number of students, inadequate clinical settings, patient safety concerns, and the inability of traditional manikins to provide tactile (haptic) feedback make it difficult for students to gain sufficient clinical experience. Furthermore, the dynamic structure of labor, which cannot be directly observed from the outside, restricts conceptual learning.
Virtual reality (VR)-based training is an innovative solution that enhances cognitive and psychomotor competence in teaching high-risk procedures. VR technology reinforces conceptual learning by 3D-visualizing abstract processes such as fetal rotation, while advanced haptic feedback provides students with realistic tissue feel for practicing episiotomy and suture repair. Literature demonstrates that VR-based training reduces serious perineal tear rates and lowers anxiety while enhancing students' clinical skills and self-efficacy. This study was

prepared to guide healthcare professionals by reviewing evidence-based perineal protection bundle components and virtual reality-based training approaches in midwifery education in light of current literature.
Keywords: Midwifery education, episiotomy, perineal protection bundle, virtual reality, simulation.

GİRİŞ

Ebelik eğitimi; teorik bilgi ile klinik uygulamanın bütünleşmesini gerektiren, uygulama ağırlıklı bir sağlık disiplinidir. Ebelerin doğum yönetimi, perine koruma, epizyotomi uygulaması ve olası komplikasyonların erken tanılanması gibi kritik becerilere sahip olması, maternal ve neonatal sağlığın korunması açısından büyük önem taşımaktadır (WHO, 2018). Vajinal doğumların önemli bir komplikasyonu olan perineal travma, kadınların yaklaşık %85'inde farklı derecelerde perine hasarı olarak karşımıza çıkmaktadır (Kettle & Tohill, 2008; WHO, 2018). Özellikle üçüncü ve dördüncü derece perine yırtıkları; anal inkontinans, kronik pelvik ağrı ve yaşam kalitesinde ciddi düşüş ile ilişkilidir (Hals et al., 2010; Sultan et al., 2007).

Güncel klinik yaklaşımlar, rutin epizyotomi kullanımı yerine sınırlı uygulamayı önermekte ve kanıta dayalı perine koruma tekniklerinin önemini vurgulamaktadır (Jiang et al., 2017; WHO, 2018). Bu hayati becerilerin doğru ve güvenli şekilde kazanılması için ebelik öğrencilerinin yeterli klinik deneyime ulaşması gerekir. Ancak artan öğrenci sayısı, klinik uygulama alanlarının yetersizliği, kısıtlı vaka çeşitliliği ve hasta güvenliği kaygıları, geleneksel yöntemlerle deneyim kazanmayı zorlaştırmaktadır (Aker et al., 2024; Cant & Cooper, 2017). Ayrıca geleneksel klinik eğitimde öğrenciler gerçek hasta üzerinde uygulama yaparken ciddi bir anksiyete yaşamakta, bu hata yapma korkusu ise öğrenme sürecini olumsuz etkilemektedir (Pottle, 2019).

Bu noktada sanal gerçeklik (Virtual Reality - VR) teknolojisi, ebelik öğrencilerinin klinik beceri gelişimini destekleyen yenilikçi bir eğitim yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. VR tabanlı programlar; doğum mekanizması, fetal rotasyon, pelvik muayene, perine koruma teknikleri ve epizyotomi onarımı gibi karmaşık, soyut ve üç boyutlu süreçleri etkileşimli bir şekilde sunarak öğrenmeyi pekiştirmektedir (Kyaw et al., 2019; Solmaz ve ark., 2025). Bu doğrultuda hazırlanan metin, perine koruma paketi bileşenlerini ve sanal gerçeklik tabanlı ebelik eğitimini güncel literatür doğrultusunda ele alarak sağlık profesyonellerine ve eğiticilere yol göstermeyi amaçlamaktadır.

Perine Koruma Paketinde Güncel Yaklaşımlar

Perine koruma; doğum sırasında perinenin anatomik bütünlüğünü korumayı, travmayı en aza indirmeyi ve maternal morbiditeyi azaltmayı amaçlayan kanıta dayalı, bütüncül bir bakım yaklaşımıdır (Kettle & Tohill, 2008; WHO, 2018). Doğum sırasında uygulanan koruyucu girişimler, yalnızca akut dönemi değil, kadınların uzun dönem pelvik taban fonksiyonlarını ve yaşam kalitesini de doğrudan etkilemektedir (Sultan et al., 2007). Literatürde yer alan güncel ve kanıta dayalı perine koruma uygulamaları şu başlıklar altında özetlenmektedir:

Perine koruma paketi (perineal protection bundle): Uygulamaların standartlaştırılması amacıyla geliştirilen bu çok bileşenli paketler; ekip içi iletişimin güçlendirilmesini, doğumun yavaş ve kontrollü yönetimini, epizyotominin sınırlandırılmasını, perinenin manuel olarak desteklenmesini ve doğum sonrası sistematik değerlendirmeyi içerir (Hals et al., 2010; Laine et al., 2012). Protokollerin varlığına rağmen ciddi yırtık oranlarında küresel olarak beklenen düzeyde azalma sağlanamaması; uygulayıcılar arasındaki teknik farklılıklara, standart eğitim eksikliğine ve klinik deneyim değişkenliğine bağlanmaktadır (Stedenfeldt et al., 2012).

***Antenatal ve intrapartum perine masajı*:** Gebeliğin son haftalarında uygulanan perine masajı, doku elastikiyetini artırarak epizyotomi gereksinimini ve ciddi perineal yırtık oranlarını anlamlı düzeyde azaltmaktadır (Beckmann & Garrett, 2006; Aasheim et al., 2017). Türkiye'deki bir çalışma da antenatal dönemde verilen bu eğitimin ve perine masajı uygulamalarının doğum sonuçlarını olumlu etkilediğini ve ebelerin danışmanlık rolünün önemini ortaya koymaktadır Karaçam & Ekşi, 2010). Acavut ve arkadaşları (2026) tarafından Türkiye'de gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada; 120 primipar gebeye uygulanan intrapartum perine masajı ile sıcak kompresin perineal travma, kanama miktarı, epizyotomi uzunluğu ve ağrı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, her iki uygulamanın da perineal travmayı ve ağrıyı azaltmada; kanama miktarını ve epizyotomi uzunluğunu düşürmede olumlu sonuçlar sağladığı saptanmıştır (Acavut et al., 2026).

Kontrollü doğurtma teknikleri (hands-on ve hands-poised): Doğumun ikinci evresinde fetal başın kontrollü ve yavaş çıkışı perine üzerindeki ani gerilimi azaltır. *"Hands-on"* yaklaşımı perinenin manuel olarak desteklenmesini temel alırken, *"hands-poised"* yaklaşımı ellerin hazırda bekletildiği daha sınırlı bir müdahaleyi savunur. Ebelerin bu teknikleri uygun şekilde yönetmesi, perineal travmanın önlenmesinde anahtar role sahiptir (Laine et al., 2012; Karaçam & Akyüz, 2011).

Doğum pozisyonları: Dik, çömelme ve lateral pozisyonlar, geleneksel litotomi pozisyonuna kıyasla perine üzerinde daha düşük basınç ve doku gerilimi oluşturarak travma oranlarını azaltmaktadır (Gupta et al., 2017; Demirel & Yıldırım, 2022). Laderas-Díaz ve arkadaşları (2026) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, doğumun ikinci evresindeki anne pozisyonlarının perineal travma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dokuz randomize kontrollü çalışmanın değerlendirildiği araştırmada; genel olarak dik pozisyonlar ile sırtüstü pozisyonlar arasında belirgin bir fark saptanmasa da pozisyon bazlı analizlerde çömelme pozisyonunun ciddi perine yırtığı, el-diz pozisyonunun ise epizyotomi riski açısından en avantajlı pozisyonlar arasında yer aldığı bildirilmiştir (Laderas-Díaz et al., 2026).

Epizyotominin sınırlı kullanımı: Kanıtlar, rutin epizyotominin daha fazla perineal hasara ve iyileşme sorunlarına yol açtığını göstermektedir (Jiang et al., 2017; WHO, 2018). Türkiye'de epizyotomi oranları halen yüksek seyretmekle birlikte, kanıta dayalı yaklaşımların yaygınlaşmasıyla son yıllarda bir azalma eğilimi gözlenmektedir (Duman ve ark., 2024; Hadımlı ve ark., 2024). Abdelgalil ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen meta-analiz çalışmasında; primipar kadınlarda rutin, kısıtlayıcı ve epizyotomisiz yaklaşımlar karşılaştırılmış; rutin epizyotomi uygulamasının yara enfeksiyonu, doğum sonrası perineal ağrı ve anal inkontinans açısından daha olumsuz sonuçlarla ilişkili olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde Lorenzi Daniel ve ark. (2025), epizyotominin sadece fetal endikasyonlarla sınırlandırıldığı kısıtlayıcı yaklaşımın epizyotomi oranlarını belirgin şekilde düşürdüğünü bildirmiştir. Bu bulgular, epizyotominin rutin bir prosedür olarak uygulanması yerine yalnızca klinik gereklilikler doğrultusunda sınırlandırılmasının önemini ortaya koymaktadır (Abdelgalil et al., 2025; Lorenzi Daniel et al., 2025).

Ebelik Eğitiminde Mevcut Sorunlar ve Yenilikçi Yaklaşımlara Duyulan İhtiyaç

Ebelik eğitimi; bilişsel, psikomotor ve duyuşsal öğrenme alanlarını kapsayan çok boyutlu bir süreçtir. Ancak mevcut geleneksel eğitim modelleri, uygulamaya dayalı klinik becerilerin kazandırılması açısından ciddi kısıtlılıklar barındırmaktadır (Cant & Cooper, 2017; Karaçam & Akyüz, 2011). Yaşanan uygulama eksiklikleri, acilen alternatif ve destekleyici eğitim yöntemlerinin müfredata dahil edilmesini zorunlu kılmaktadır (Duman ve ark., 2024). Geleneksel ebelik eğitiminde karşılaşılan sorunlar üç temel unsurdan kaynaklanmaktadır:

Klinik alan ve vaka yetersizliği: Öğrenciler, klinik süreçte her obstetrik senaryoyu veya komplikasyonu deneyimleme şansına sahip değildir. Hasta güvenliği ve haklarının öncelikli olması nedeniyle öğrencilerin doğrudan uygulama yapma fırsatları kısıtlanmakta, eğitim çoğunlukla gözlem düzeyinde kalmaktadır (Karaçam & Akyüz, 2011; Aker ve ark., 2024). Bu durum, hata yapıldığında anne ve bebek sağlığının tehlikeye gireceği gerçeğiyle birleştiğinde öğrencilerde yüksek performans anksiyetesine yol açmaktadır (Cant & Cooper, 2017).

Doğum eyleminin soyut ve dinamik yapısı: Pelvik mekanikler, fetal rotasyon ve iniş mekanizmaları gibi süreçler dışarıdan doğrudan gözlemlenemediği için öğrencilerin bu üç boyutlu dinamikleri zihinlerinde canlandırması oldukça zordur. Bu durum, doğum yönetimi ve perine koruma gibi kritik alanlarda ciddi bir bilgi-beceri boşluğu doğurmaktadır (WHO, 2018; Gupta et al., 2017).

Geleneksel simülasyon araçlarının kısıtlılıkları: Eğitimde uzun süredir kullanılan klasik cansız maket ve mankenler, doğum eyleminin dinamik yapısını yansıtmaktan uzaktır. Özellikle dokunsal (haptik) geri bildirim eksikliği, gerçekçi senaryoların kısıtlı olması ve görselleştirme yetersizliği, bu araçların klinik yetkinlik kazandırmadaki etkinliğini sınırlandırmaktadır (Cant & Cooper, 2017; Aker ve ark., 2024).

Perine Koruma Eğitiminde Sanal Gerçekliğin Etkinliği ve Avantajları

VR, kullanıcıya üç boyutlu, etkileşimli ve sürükleyici (*immersif*) bir ortam sunarak geleneksel öğretimin ve laboratuvar maketlerinin sınırlılıklarını aşma potansiyeline sahip yenilikçi bir teknolojidir (Radianti et al., 2020). Perine koruma, epizyotomi açılması ve anatomik katmanlara uygun sütür atılması gibi yüksek hassasiyet gerektiren psikomotor becerilerin öğretiminde VR teknolojisi çok yönlü avantajlar sağlamaktadır (Kettle & Tohill, 2008; Jiang et al., 2017).

Klinik beceri ve karar verme üzerine etkisi

VR tabanlı eğitimler, öğrencilerin risksiz bir ortamda aktif rol almasını sağlayarak deneyimsel öğrenmeyi destekler:

***Görselleşme ve haptik geri bildirim*:** Doğumun ikinci evresindeki fetal başın kontrollü çıkışı ve fetal rotasyon gibi soyut mekanizmalar VR ortamında üç boyutlu olarak görselleştirilerek kavramsal öğrenme pekiştirilir (WHO, 2018; Aydın et al., 2024). Gelişmiş VR sistemlerinde yer alan haptik (dokunsal) geri bildirim teknolojisi ise öğrencilerin gerçek doku direncini hissetmelerini sağlayarak epizyotomi onarımındaki sütür tekniklerinin gerçeğe en yakın şekilde deneyimlenmesine imkan tanır (Pottle, 2019).

Kritik karar verme: Senaryo temelli VR uygulamaları; epizyotomi gerekliliğinin değerlendirilmesi, kesi açısının doğru belirlenmesi ve müdahale zamanlaması gibi kritik klinik karar eşiklerini simüle eder (Cant & Cooper, 2017). Literatür; VR ile eğitilen öğrencilerin akranlarına kıyasla uygun kesi açısını daha doğru belirlediklerini, hata oranlarının anlamlı şekilde azaldığını ve klinik uygulamalara daha hazır hale geldiklerini göstermektedir (Kyaw et al., 2019; Padilha et al., 2019).

Eğitimde standardizasyon ve anksiyetenin azaltılması

VR'ın ebelik eğitimine getirdiği en büyük yenilik, öğrencilere "hata yapmanın güvenli olduğu" bir alan sunmasıdır:

- Öğrenciler gerçek bir hastaya veya makete zarar verme riski taşımaksızın, aynı senaryoyu kendi öğrenme hızlarına göre sınırsız sayıda tekrar edebilirler (Kyaw et al., 2019; Radianti et al., 2020).
- Bu tekrarlanabilirlik, performans kaygısını ve anksiyeteyi belirgin şekilde azaltırken mesleki özgüven ve öz-yeterlilik algılarını güçlendirir (Pottle, 2019; Başkaya ve ark., 2025).
- Ayrıca tüm öğrencilere standardize klinik senaryoların sunulabilmesi, kurumlar arası uygulama farklılıklarının önüne geçmektedir (Radianti et al., 2020).

Komplikasyonların önlenmesi ve klinik çıktılara yansıması

Perineal travmaların ve doğuma bağlı komplikasyonların önlenmesi; risk faktörlerinin erken tanınmasına ve proaktif yaklaşımlara bağlıdır (Sultan et al., 2007). VR simülasyonları, öğrencilerin klinik sahada karşılaşma olasılığı düşük olan nadir fakat yüksek riskli komplikasyon senaryolarını (örn. omuz distosisi, postpartum kanama yönetimi) güvenli bir ortamda deneyimlemelerine fırsat tanır (Aker ve ark., 2024). Güncel literatür, VR tabanlı eğitimlerin doğrudan klinik bakım sonuçlarına olumlu yansıdığını doğrulamaktadır (Chen et al., 2023; Manouchehri et al., 2026). Macnaught ve arkadaşlarının (2026) çalışması, klinik sürece entegre edilen VR tabanlı perine koruma programlarının, uygulayıcıların yetkinliğini artırmanın yanı sıra üçüncü ve dördüncü derece ciddi perineal yırtık oranlarını anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymuştur. Bu teknoloji ile yetişen sağlık personelinin sunduğu nitelikli bakımın; doğum sonrası maternal ağrı ve anksiyeteyi azalttığı, anne memnuniyetini ise önemli ölçüde artırdığı bildirilmektedir (Chen et al., 2023; Manouchehri et al., 2024).

Ebelik Eğitiminde Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin Geleceği ve Entegrasyon

VR teknolojisi; ebelik öğrencilerinin perine koruma ve epizyotomi yönetimi gibi yüksek teknik beceri gerektiren süreçlerde bilişsel, psikomotor ve yönetsel yetilerini eş zamanlı geliştiren güçlü bir alternatiftir (Kyaw et al., 2019; Radianti et al., 2020). Firmiano ve arkadaşları (2026) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede, sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının obstetrik hemşirelik ve ebelik eğitiminde teknik becerileri, özgüveni ve öğrenme deneyimini geliştirme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Gelecekte bu teknolojinin ebelik eğitim müfredatlarına sistematik olarak entegre edilmesi kaçınılmaz görünmektedir.

Entegrasyon sürecinde; yüksek ilk kurulum maliyetleri, teknolojik altyapı gereksinimleri ve eğiticilerin dijital okuryazarlık yeterlilikleri gibi bazı kurumsal kısıtlılıklar mevcuttur (Radianti et al., 2020). Mergen ve arkadaşları (2024) çalışmasında, VR teknolojilerinin eğitim ortamlarına entegrasyonunda maliyet, teknik altyapı ve pedagojik uyumun önemli sınırlılıklar oluşturduğunu; başarılı bir entegrasyon için ise disiplinler arası iş birliğine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Ancak teknolojinin küresel ölçekte hızla yaygınlaşması, donanımların daha erişilebilir hale gelmesi ve yerli yazılımların geliştirilmesiyle birlikte bu kurumsal ve ekonomik engellerin yakın gelecekte asgari düzeye ineceği öngörülmektedir.

SONUÇ

VR temelli eğitimler; ebelik eğitiminde perine koruma, epizyotomi ve sütür onarımı gibi yüksek risk ve hassasiyet gerektiren klinik girişimlerin öğretiminde bilişsel, psikomotor ve karar verme yetkinliğini artıran güvenli, etkili ve yenilikçi bir yöntemdir. VR teknolojisi; sunduğu üç boyutlu görselleştirme, haptik (dokunsal) geri bildirim imkânı ve "hata yapmanın güvenli olduğu" sınırsız tekrarlanabilir öğrenme ortamı sayesinde geleneksel klinik eğitimin kısıtlılıklarını ve klasik maketlerin yetersizliklerini aşma gücüne sahiptir.

Ebelik müfredatında kanıta dayalı perine koruma paket bileşenleri ile VR tabanlı simülasyonların entegre edilmesi; öğrencilerin performans anksiyetesini azaltmakta, klinik karar verme becerilerini geliştirmekte ve eğitim süreçlerini standardize etmektedir. Sahaya donanımlı, mesleki öz-yeterliliği ve klinik yetkinliği yüksek ebelerin kazandırılması; uzun vadede ciddi perineal travma ve komplikasyon oranlarının düşürülmesine, maternal memnuniyetin yükseltilmesine ve kanıta dayalı bakım kalitesinin artırılmasına doğrudan katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda;

- Sanal gerçeklik tabanlı simülasyon programlarının ebelik eğitim müfredatlarına sistematik ve planlı bir şekilde entegre edilmesi,
- Eğiticilerin dijital okuryazarlık ve VR simülasyon yönetimi konularında desteklenmesi,

- Teknolojik altyapı ve yerli yazılım geliştirme çalışmalarının teşvik edilmesi güçlü bir şekilde önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Aasheim, V., Nilsen, A. B. V., Reinar, L. M., & Lukasse, M. (2017). Perineal techniques during the second stage of labour for reducing perineal trauma. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2017(6), CD006672. https://doi.org/10.1002/14651858.CD006672.pub3

Abdelgalil, M. S., Amer, B. E., Eldesouky, E., Darwish, M. Y., Farag, E., Mohamed, A., … & Bosilah, A. H. (2025). Network meta-analysis of episiotomy approaches: Comparing routine, restrictive, and non-episiotomy strategies and their effects on maternal and neonatal outcomes in primiparous patients. Reproductive Health, 22 (1), 161. https://doi.org/10.1186/s12978-025-02132-9

Acavut, G., Güvenç, G., & Karaşahin, K. E. (2026). The effectiveness of massage and warm compresses on perineal trauma, hemorrhage, length of episiotomy and pain: A randomized controlled trial. Zeitschrift für Geburtshilfe und Neonatologie, 230 (2), 155–161. https://doi.org/10.1055/a-2730-1313

Aker, S., Aydın Kartal, Y., Bulut, A., Hızlıol, B., & Toprak, T. (2024). Ebelik öğrencilerinin epizyotomi becerisine yönelik öz yeterlilik algısı ve etkileyen faktörlerin incelenmesi. Disiplinlerarası Eğitim Araştırmaları Dergisi, 8(19), 272–281. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jier/issue/89324/1545556

Başkaya, Y. H., Yolcu, B., Demir Kaymak, Z., Akyaman, Ş., Turan, Z., & Çit, G. (2025). Effects of beef tongue and virtual reality in episiotomy training on self-efficacy and anxiety in midwifery students: Randomized controlled trial. Clinical Simulation in Nursing, 107, 101817. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2025.101817

Beckmann, M. M., & Garrett, A. J. (2006). Antenatal perineal massage for reducing perineal trauma. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2006(1), CD005123. https://doi.org/10.1002/14651858.CD005123.pub2

Cant, R. P., & Cooper, S. J. (2017). Use of simulation-based learning in undergraduate nurse education: An umbrella systematic review. Nurse Education Today, 49, 63–71. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.11.015

Demirel, G., & Yıldırım, F. (2022). Doğum pozisyonlarının doğum deneyimi ve maternal sonuçlara etkisi. Türkiye Klinikleri Doğum-Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Dergisi, 8(2), 45–52. https://www.turkiyeklinikleri.com

Duman, N., Kardeş, G., & Hadımlı, A. (2024). Epizyotomi uygulamalarının güncel değerlendirilmesi. İçinde Ebelikte Araştırma ve Geliştirme Kongresi Bildiri Kitabı, Ankara, Türkiye. https://ebearge.com.tr/wp-content/uploads/2024/07/EBTARKON23-KITAP-2024.Pdf

Firmiano, M. L., Moreira, A. P. A., Vieira, F. V. M., Sa-Couto, C., & Cardoso, A. (2026). Integration of virtual and augmented reality into obstetric nursing and midwifery education: Systematic review. JMIR Nursing, 9, e90252. https://doi.org/10.2196/90252

Gupta, J. K., Sood, A., Hofmeyr, G. J., & Vogel, J. P. (2017). Position in the second stage of labour for women without epidural anaesthesia. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2017(5), CD002006. https://doi.org/10.1002/14651858.CD002006.pub4

Hadımlı, A., Ekşioğlu, A., Duman, N., & Çeber Turfan, E. (2024). Epizyotomi becerileri ve ebelik eğitiminde güncel yaklaşımlar. Ege Üniversitesi Ebelik Fakültesi Yayınları. https://ebelik.ege.edu.tr

Hals, E., Øian, P., Pirhonen, J., Gissler, M., Hjelle, S., Nilsen, E. B., & Severinsen, A. M.

(2010). A multicenter interventional program to reduce the incidence of anal sphincter tears. Obstetrics & Gynecology, 116(4), 901–908. https://doi.org/10.1097/AOG. 0b013e3181eda77a
Jiang, H., Qian, X., Carroli, G., & Garner, P. (2017). Selective versus routine use of episiotomy for vaginal birth. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2017(2), CD000081. https://doi.org/10.1002/14651858.CD000081.pub3
Karaçam, Z., & Akyüz, E. (2011). Ebelerin doğum eylemine yönelik girişimlerdeki rolü. Ebelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 3(1), 45–52.
Karaçam, Z., & Ekşi, H. (2010). Vajinal doğumlarda perine travmasının önlenmesinde antenatal perine masajı ve ebelik bakımı. Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 13(3), 63–69.
Kettle, C., & Tohill, S. (2008). Perineal care. BMJ Clinical Evidence, 2008, 1401. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2907937/
Laderas-Díaz, E., Rodríguez-Almagro, J., Martínez-Rodríguez, S., Picón-Rodríguez, R., & Hernández-Martínez, A. (2026). Maternal positioning in the second stage of labour and its relationship with perineal trauma: A systematic review and network meta-analysis. International Urogynecology Journal, 37, 1167–1177. https://doi.org/10.1007/s00192-025-06512-4
Lorenzi Daniel, B., Baron Geronimo, B., Yano Callado, G., & Félix Martins Santana, E. (2025). Episiotomy restricted to foetal indications and occurrence of severe perineal tears: Systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. Gynecology and Obstetrics Clinical Medicine, 5 (4), e000240. https://doi.org/10.1136/gocm-2025-000240
Macnaught, E. S., et al. (2026). Evaluating virtual reality as a feasible and acceptable adjunct for perineal protection training in obstetric education. Clinical Simulation in Nursing. Advance online publication. Women and Birth, 39(2026), 102187. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871519226000284
Mergen, M., Graf, N., & Meyerheim, M. (2024). Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education – A scoping review. BMC Medical Education, 24 (1), Article 788. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05777-5
Pottle, J. (2019). Virtual reality and the transformation of medical education. Future Healthcare Journal, 6(3), 181–185. https://doi.org/10.7861/fhj.2019-0036
Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Computers & Education, 147, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778
Solmaz, E., Taşkın, R., & Kaya, B. (2025). Ebelik eğitiminde sanal gerçeklik kullanımı. Nuh'un Gemisi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(1), 22–28. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4738266
Stedenfeldt, M., Pirhonen, J., Blix, E., Wilsgaard, T., Vonen, B., & Øian, P. (2012). Episiotomy characteristics and risks for obstetric anal sphincter injuries: A case-control study. BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 119(6), 724–730. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2012.03293.x
Sultan, A. H., Thakar, R., & Fenner, D. E. (Eds.). (2007). Perineal and anal sphincter trauma: diagnosis and clinical management. Springer Science & Business Media.
World Health Organization. (2018). WHO recommendations: Intrapartum care for a positive childbirth experience. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241550215

GLOTTİK DARALMA VE STRİDORU OLAN YAŞLI HASTADA FİBEROPTİK BRONKOSKOP EŞLİĞİNDE UYANIK ENTÜBASYON: OLGU SUNUMU

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe AKHAN
Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi
(Sorumlu Yazar)
ORCID ID: 0009-0004-1538-8332

ÖZET

Giriş: Beklenen zor hava yolunda uyanık trakeal entübasyon, spontan solunumu ve hava yolu tonusunu koruduğu için öne çıkan bir yaklaşımdır; buna rağmen günlük anestezi pratiğinde nadiren tercih edilir. Baş ve boyun patolojileri, zor hava yolunu öngördüren en önemli etkenler arasında yer alır.

Olgu: Sol vokal kord kitlesi nedeniyle izlenen 82 yaşındaki erkek hasta, stridor ve nefes darlığı gelişince değerlendirildi. Koroner arter bypass cerrahisi, hipertansiyon, astım, karotis darlığı ve geçirilmiş inme öyküsü vardı (ASA III; fonksiyonel kapasite < 4 MET). Toraks bilgisayarlı tomografisinde glottik düzeyde her iki vokal kordda kalınlaşma ve hava yolunda simetrik daralma görüldü; larinks muayenesinde vokal kordların çevresi ödemliydi. Metilprednizolon tedavisinden yarar görmeyen hastada hava yolunu uyanık entübasyonla güvenceye almaya karar verdik. Topikal anestezi için 10 mL %2 lidokain (4 mg/kg) nebülize edildi ve %10 lidokain sprey uygulandı; sedasyon deksmedetomidin ve remifentanil infüzyonlarıyla sağlandı. Seslenmekle gözlerini açan ve spontan solunumu korunan hasta, fiberoptik bronkoskop eşliğinde 7,0 numara tüple oral yoldan entübe edildi. Tüp yerleştirildikten sonra propofol ve roküronyumla genel anestezi indüksiyonu yapıldı ve aynı seansta trakeostomi açıldı. Dört günlük yoğun bakım izleminin ardından kulak burun boğaz servisine devredilen hastaya larinks biyopsisi planlandı.

Sonuç: Larinks patolojisine bağlı anatomik zor hava yoluna ileri yaş ve kardiyopulmoner hastalıklar da eklendiğinde, fiberoptik bronkoskop eşliğinde uyanık entübasyon hava yolunu güvenceye almak için uygun bir seçenek olabilir. Bu yaklaşımın başarısı; yeterli topikal anesteziye, dikkatle titre edilen sedasyona, oksijenasyonun kesintisiz sürdürülmesine ve gerektiğinde başvurulmak üzere önceden planlanmış bir acil cerrahi hava yolu stratejisine bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Uyanık entübasyon, fiberoptik bronkoskopi, zor hava yolu, larinks kitlesi, stridor

AWAKE FIBREOPTIC INTUBATION IN AN ELDERLY PATIENT WITH GLOTTIC NARROWING AND STRIDOR: A CASE REPORT

ABSTRACT

Introduction: In patients with an anticipated difficult airway, awake tracheal intubation stands out because it preserves spontaneous breathing and airway tone; nevertheless, it is rarely chosen in daily anaesthetic practice. Head and neck pathologies are among the most important predictors of a difficult airway.

Case: An 82-year-old man followed up for a left vocal cord mass was evaluated after developing stridor and dyspnoea. He had a history of coronary artery bypass surgery, hypertension, asthma, carotid stenosis and a previous stroke (ASA III; functional capacity < 4 METs). Thoracic computed tomography showed thickening of both vocal cords and symmetrical airway narrowing at the glottic level; laryngeal examination revealed oedema around the vocal cords. As the patient did not benefit from methylprednisolone, we decided to secure the airway by awake intubation. For topical anaesthesia, 10 mL of 2% lidocaine was

nebulised and 10% lidocaine spray was applied; sedation was provided with dexmedetomidine and remifentanil infusions. The patient, who opened his eyes to verbal command and maintained spontaneous breathing, was intubated orally with a 7.0 tube under fibreoptic bronchoscopic guidance. After the tube was placed, general anaesthesia was induced with propofol and rocuronium, and a tracheostomy was performed in the same session. Following four days of intensive care, the patient was transferred to the otorhinolaryngology ward and a laryngeal biopsy was planned.
Conclusion: When advanced age and cardiopulmonary disease are added to an anatomically difficult airway caused by laryngeal pathology, awake intubation under fibreoptic bronchoscopic guidance may be an appropriate option for securing the airway. The success of this approach depends on adequate topical anaesthesia, carefully titrated sedation, uninterrupted oxygenation and a pre-planned emergency front-of-neck airway strategy to be used if necessary.
Keywords: Awake intubation, fibreoptic bronchoscopy, difficult airway, laryngeal mass, stridor

1. GİRİŞ

Zor havayolu, anesteziyologlar için bugün de önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Amerikan Anesteziyologlar Derneği'nin kapalı dava analizinde solunumla ilişkili advers olaylar tüm davaların %34'ünü oluşturmuş ve bu olguların %85'i ölüm ya da beyin hasarıyla sonuçlanmıştır. Bu olayların yaklaşık dörtte üçünden yetersiz ventilasyon, özofageal entübasyon ve zor entübasyon sorumlu tutulmuştur (Caplan vd., 1990). Bu riskler göz önüne alındığında, uyanık trakeal entübasyon (UTE) zor havayolu yönetiminde en güvenli seçeneklerden biri olarak öne çıkmaktadır (Pirlich vd., 2024).

Son yıllarda havayolu yönetiminde yalnızca anatomik zorluğun değil, hastanın fizyolojik durumunun da belirleyici olduğu kabul edilmektedir. "Fizyolojik zor havayolu" (FZH) kavramı, havayolu anatomik olarak kolay görünse bile hastadaki fizyolojik bozuklukların entübasyon ve pozitif basınçlı ventilasyona geçiş sırasında kardiyovasküler kollaps riskini artırdığı durumları tanımlamaktadır (Mosier vd., 2015). Hipoksemi, hipotansiyon, ağır metabolik asidoz ve sağ ventrikül yetmezliği bu durumların başlıcalarıdır (Mosier vd., 2015). Kısa apne toleransı ve aspirasyon riski de bu kapsamda değerlendirilmektedir (Chen vd., 2025). Bu hastalarda indüksiyon ajanları ile apne ve pozitif basınçlı ventilasyona hızlı geçiş hayatı tehdit eden komplikasyonlara yol açabilmektedir. Hızlı indüksiyon ile entübe edilen FZH'li hastalarda kritik hipotansiyon sıklığının %13,5 ile %59,8 arasında değiştiği, kritik hastalarda entübasyon süresince kardiyak arrest insidansının ise %2,7–3,5'e ulaştığı bildirilmiştir (Parks vd., 2026).

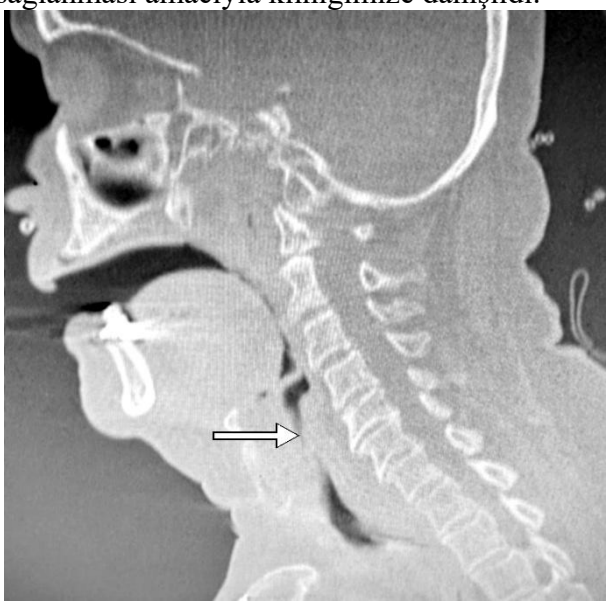
Güncel kılavuzlar UTE'yi çoğunlukla anatomik zor havayolu öngörülen hastalar için önermektedir. Kılavuzların sistematik bir derlemesinde FZH'yi UTE endikasyonu olarak tanımlayan yalnızca tek bir kılavuz bulunmuştur (Chen vd., 2025). Uyanık fleksibl bronkoskop entübasyonu, spontan solunumu ve havayolu tonusunu koruyarak topikal anestezi altında kontrollü, adım adım ilerlemeye olanak tanımaktadır (Chen vd., 2025; Yilmaz vd., 2025). İndüksiyon ajanları, kas gevşetici, apne ve pozitif basınçlı ventilasyona ani geçiş gerektirmediğinden, fizyolojik olarak kırılgan hastalarda hipoksemi ve hemodinamik kollaps riskini azaltabilir (Camiré vd., 2026; Parks vd., 2026). Bu alandaki az sayıdaki çalışmadan birinde, FZH'li 39 kritik hastanın tamamı uyanık fleksibl bronkoskopi ile ilk denemede başarıyla entübe edilmiştir (Camiré vd., 2026).

Bu yazıda, sol vokal kord kitlesi ve dispnesi nedeniyle anatomik ve fizyolojik zor havayolu olarak değerlendirilen ve uyanık fleksibl bronkoskopi ile başarıyla entübe edilen olgumuzu literatür eşliğinde sunuyoruz.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Olgu Sunumu

82 yaşında erkek hasta, 2026 Mart ayında pnömoni nedeniyle yoğun bakımda yatmıştı. Taburcu olduktan bir ay sonra ses kısıklığı başlamıştı. 2026 Ağustos ayında kulak burun boğaz (KBB) polikliniğine başvuran hastada sol vokal kordda kitle saptanmıştı. Biyopsi için yatırılan hastanın ertesi gün genel durumu bozulunca operasyon iptal edilmiş ve hasta taburcu edilmişti. Yaklaşık 20 gün sonra stridor ve nefes darlığıyla acil servise başvuran hasta KBB hekimince değerlendirildi. Larinks muayenesinde vokal kord çevresinde ödem görüldü. Metilprednizolon tedavisine rağmen düzelme olmadı. Boyun bilgisayarlı tomografisinde (BT) glottik seviyede iki taraflı vokal kord kalınlaşması ve havayolunda simetrik daralma izlendi (Şekil 1). Hasta, havayolu güvenliğinin sağlanması amacıyla kliniğimize danışıldı.



Şekil 1. Boyun BT, sagittal kesit. Glottik seviyede havayolu daralması (ok).

Hastanın koroner bypass, hipertansiyon, astım, karotis darlığı ve benign prostat hiperplazisi öyküsü vardı. Beş yıl önce sekel bırakmayan inme geçirmişti. Efor kapasitesi düşüktü (MET < 4). Trombosit sayısı 120.000/mm³ idi, diğer laboratuvar tetkikleri normaldi. Hasta ASA IIIE olarak değerlendirildi. Dispneik hasta acil trakeostomi açılmak üzere ameliyathaneye alındı. Stridor ve glottik daralma nedeniyle zor havayolu öngörüldü. İndüksiyon sonrasında ventile edilememe riski yüksek olduğu için uyanık entübasyona karar verildi.

Hastaya toplamda 4 mg/kg olmak üzere %2 lidokain ile nebülizasyon yapıldı, ağız ve boğazına %10 lidokain sprey uygulandı. Deksmedetomidin (0,3 mcg/kg/saat) ve remifentanil (0,05 mcg/kg/dk) infüzyonuyla hafif sedasyon sağlandı; hasta seslenmekle göz açıyor ve komutlara uyuyordu. Video laringoskop ve fiberoptik bronkoskop birlikte kullanılarak hasta uyanıkken ve spontan solunumu korunarak oral yoldan 7.0 numara tüple ilk denemede entübe edildi. Tüpün yeri doğrulandıktan sonra propofol ve rokuronyum uygulanarak genel anesteziye geçildi. Ödem için deksametazon yapıldı ve ardından trakeostomi açıldı. İşlem boyunca desatürasyon gelişmedi ve hemodinami stabil seyretti. Hasta postoperatif dönemde dört gün yoğun bakımda izlendi; bilinci açık, trakeostomili ve oda havasında KBB servisine devredildi ve larinks biyopsisi planlandı. Bu olgu sunumu için hastadan yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

2.2. Tartışma

Olgumuzda zor havayolunun hem anatomik hem fizyolojik bileşenleri birlikte bulunmaktaydı. Glottik kitle, vokal kord ödemi ve BT'de izlenen simetrik daralma anatomik zorluğu; stridor ise

darlığın kritik düzeyde olduğunu gösteriyordu. Bunun yanında ileri yaş, koroner bypass ve inme öyküsü, düşük efor kapasitesi ve dispneye bağlı azalmış apne toleransı hastayı fizyolojik açıdan da kırılgan hale getiriyordu. İndüksiyonla birlikte kas tonusunun kaybolmasının daralmış havayolunun tamamen kapanmasına yol açabileceğini düşündük. İndüksiyon ajanlarına bağlı hipotansiyonun da bu hastada ciddi kardiyovasküler sonuçlar doğurabileceğini öngördük. Bu nedenlerle uyanık entübasyonu tercih ettik.

Literatür bu yaklaşımı desteklemektedir. Acil serviste uygulanan 87 uyanık entübasyonun değerlendirildiği bir çalışmada hastaların %87'sinde fizyolojik zorluk belirteçleri bulunmuş ve %92'si majör advers olay gelişmeden entübe edilmiştir (Parks vd., 2026). Fizyolojik zor havayolu olan 39 kritik hastanın tamamı ise uyanık fleksibl bronkoskopi ile ilk denemede başarıyla entübe edilmiştir (Camiré vd., 2026). Olgumuzda da entübasyon ilk denemede gerçekleştirildi. İşlem sırasında desatürasyon ya da hemodinamik instabilite gelişmedi.

Uyanık entübasyonda sedasyon düzeyinin dikkatle ayarlanması gerekmektedir. Aşırı sedasyon, açık olan havayolunun kaybına, apneye ve hipoksiye neden olabilir. Bunlar uyanık entübasyonda en sık bildirilen komplikasyonlar arasındadır (El-Boghdadly ve Ahmad, 2020). Bu riski azaltmak amacıyla remifentanili önerilen aralığın alt sınırında (0,05 mcg/kg/dk), deksmedetomidini de düşük dozda (0,3 mcg/kg/saat) kullandık. Hasta işlem boyunca sözlü uyarana yanıt veriyor ve komutlara uyuyordu. Yakın tarihli bir ağ meta-analizinde sedasyon rejimlerinin hiçbiri entübasyon başarısı açısından diğerlerine üstün bulunmamış, ancak deksmedetomidin daha düşük desatürasyon riskiyle ilişkilendirilmiştir (El-Boghdadly vd., 2025). Yazarlar, başarıyı belirleyen asıl etkenlerin ilaç seçiminden çok yeterli oksijenasyon, etkin topikal anestezi ve işlemin özenli uygulanması olduğunu vurgulamaktadır (El-Boghdadly vd., 2025).

Topikal anestezi bu nedenle işlemin temelini oluşturdu. Kısmi havayolu obstrüksiyonu olan hastalarda lokal anesteziğin glottik fonksiyonu bozarak obstrüksiyonu artırabileceği ileri sürülmüştür. Ancak bu komplikasyonun nadir olduğu bildirilmektedir (El-Boghdadly ve Ahmad, 2020). Hastamıza toplam 4 mg/kg lidokain uyguladık. Bu doz, Difficult Airway Society kılavuzunda önerilen 9 mg/kg (yağsız vücut ağırlığı) üst sınırının belirgin olarak altındadır (Ahmad vd., 2020). Video laringoskop ile fiberoptik bronkoskopun birlikte kullanılması, daralmış glottik açıklığın doğrudan görülmesini ve tüpün kontrollü biçimde ilerletilmesini sağladı.

Güncel kılavuzlar uyanık entübasyonu ağırlıklı olarak anatomik zor havayolu öngörülen hastalar için önermektedir (Chen vd., 2025). Olgumuz, bu karar verilirken hastanın fizyolojik durumunun da göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Glottik kitleye bağlı üst havayolu obstrüksiyonu ve ciddi komorbiditeleri olan yaşlı hastamızda uyanık entübasyon güvenli ve etkili bir seçenek olmuştur.

3. SONUÇ

Glottik kitleye bağlı üst havayolu obstrüksiyonu ve ciddi komorbiditeleri olan yaşlı hastalarda anatomik ve fizyolojik zorluk bir arada bulunabilir. Bu hastalarda iyi bir topikal anestezi ve dikkatle titre edilmiş hafif sedasyonla uygulanan uyanık entübasyon, spontan solunumu ve hemodinamik stabiliteyi koruyarak güvenli bir havayolu yönetimi sağlayabilir. Uyanık entübasyon kararı verilirken anatomik bulguların yanında hastanın fizyolojik durumu da göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKÇA

Ahmad, I., El-Boghdadly, K., Bhagrath, R., Hodzovic, I., McNarry, A. F., Mir, F., O'Sullivan, E. P., Patel, A., Stacey, M., & Vaughan, D. (2020). Difficult Airway Society guidelines for awake tracheal intubation (ATI) in adults. Anaesthesia, 75(4), 509–528. https://doi.org/10.1111/anae.14904

Camiré, D. C. D., Ramaswamy, T. S., Chu, L. F., & Mihm, F. G. (2026). Awake flexible scope intubation in critically ill patients with physiologically difficult airways: A prospective, observational case series. Critical Care Explorations, 8(4), e1394. https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000001394

Caplan, R. A., Posner, K. L., Ward, R. J., & Cheney, F. W. (1990). Adverse respiratory events in anesthesia: A closed claims analysis. Anesthesiology, 72(5), 828–833. https://doi.org/10.1097/00000542-199005000-00010

Chen, F., Tan, Z., He, Q., & Li, Q. (2025). Guideline recommendations on the assessment and management of awake airway intubation: A systematic review. BMC Anesthesiology, 25, 79. https://doi.org/10.1186/s12871-025-02940-3

El-Boghdadly, K., & Ahmad, I. (2020). The safety of topical lidocaine for awake tracheal intubation: A reply. Anaesthesia, 75, 1260–1261. https://doi.org/10.1111/anae.15101

El-Boghdadly, K., Desai, N., Jones, J. B., Elghazali, S., Ahmad, I., & Sneyd, J. R. (2025). Sedation for awake tracheal intubation: A systematic review and network meta-analysis. Anaesthesia, 80(1), 74–84. https://doi.org/10.1111/anae.16452

Mosier, J. M., Joshi, R., Hypes, C., Pacheco, G., Valenzuela, T., & Sakles, J. C. (2015). The physiologically difficult airway. Western Journal of Emergency Medicine, 16(7), 1109–1117. https://doi.org/10.5811/westjem.2015.8.27467

Parks, A., Law, J. A., Sowers, N., & Kovacs, G. (2026). Incidence and outcomes of emergency physician-performed awake intubations: A report from the Airway Interventions Registry and Observational Database. Annals of Emergency Medicine. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2026.06.007

Pirlich, N., Berk, A., Hummel, R., Schmidtmann, I., Epp, K., Kriege, M., et al. (2024). Awake tracheal intubation in routine airway management: A retrospective analysis in a tertiary centre. PLOS ONE, 19(3), e0299071. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299071

Yilmaz, M., Yuksek, A., Turan Civraz, A. Z., Yazici Kara, M., Candan, S., Saracoglu, K. T., et al. (2025). Supraglottic airway devices in awake tracheal intubation: A viable alternative to fiberoptic and video laryngoscopy. BMC Anesthesiology, 25, 485. https://doi.org/10.1186/s12871-025-03331-4

OMEGA-3 YAĞ ASİTLERİNİN İNFLAMATUVAR YOLAKLAR VE İLAÇ YANITI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Master's Student Ayşenur GÜNTAÇ
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Department of Health and Biomedical Sciences, Burdur, Türkiye
ORCID:0009-0002-8008-6459
Assoc. Prof. Dr Şükriye YEŞİLOT
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Medicine, Department of Medical Pharmacology
Burdur, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3354-8489
Prof. Dr. Çiğdem AYDIN ACAR
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Medicine, Department of Medical Pharmacology
Burdur, Türkiye
ORCID:0000-0002-1311-2314

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada EPA ve DHA'nın inflamatuvar yolaklar üzerindeki etkileri ile farmakolojik tedavi sonuçları arasındaki olası ilişkinin kanıt düzeyleri gözetilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kapsam ve yaklaşım: Bu derlemede ele alınan deneysel araştırmalar, randomize klinik çalışmalar ve derlemeler; mekanistik etkiler, romatoid artritte NSAİİ kullanımı, atorvastatin farmakokinetiği ve kemoterapiyle ilişkili sonuçlar bakımından eleştirel olarak karşılaştırılmıştır. Sistematik tarama veya meta-analiz gerçekleştirilmemiştir. Bulgular: EPA ve DHA'nın membran lipidleri, eikosanoid sentezi, NF-κB ve PPARγ sinyallemesi ile sitokin ekspresyonunu etkileyebildiği gösterilmiştir; ancak bu mekanistik bulgular klinik ilaç yanıtında doğrudan iyileşme kanıtı değildir. Romatoid artritte NSAİİ gereksinimi üzerine meta-analiz sonuçları farklılık göstermektedir. Atorvastatinin bazı metabolitlerinde farmakokinetik değişiklikler bildirilse de klinik karşılığı belirsizdir. Kemoterapi çalışmalarında tümör yanıtı ve destekleyici sonlanımlar heterojendir. Sonuç: Omega-3 desteği seçilmiş klinik durumlarda tamamlayıcı bir beslenme yaklaşımı olarak araştırılabilir; mevcut veriler ilaç dozunun rutin azaltılmasını veya standart tedavinin değiştirilmesini desteklememektedir.

Anahtar kelimeler: Omega-3 yağ asitleri, EPA, DHA, inflamasyon, ilaç yanıtı, beslenme desteği

EFFECTS OF OMEGA-3 FATTY ACIDS ON INFLAMMATORY PATHWAYS AND DRUG RESPONSE

ABSTRACT

Objective: This narrative review critically evaluates the potential relationship between the effects of EPA and DHA on inflammatory pathways and pharmacological treatment outcomes. Scope and approach: Experimental studies, clinical trials, and evidence syntheses cited in the supplied manuscript were compared across mechanistic outcomes, NSAID use in rheumatoid arthritis, atorvastatin pharmacokinetics, and chemotherapy-related outcomes. No systematic search or meta-analysis was conducted. Findings: EPA and DHA may influence membrane

lipids, eicosanoid synthesis, NF-κB and PPARγ signaling, and cytokine expression; these mechanistic observations do not establish improved clinical drug response. Meta-analyses on NSAID requirements in rheumatoid arthritis have yielded inconsistent results. Pharmacokinetic changes in certain atorvastatin metabolites have been reported, but their clinical relevance is uncertain. Chemotherapy studies show heterogeneous findings for tumor response and supportive outcomes. Conclusion: Omega-3 supplementation may be investigated as an adjunct nutritional approach in selected settings; current evidence does not support routine drug dose reduction or replacement of established therapy.
Keywords: Omega-3 fatty acids, EPA, DHA, inflammation, drug response, nutritional supplementation

1.GİRİŞ

Omega-3 yağ asitleri, ilk çift bağın karbon zincirinin metil ucundan itibaren üçüncü karbon atomunda bulunduğu çoklu doymamış yağ asitleridir (PUFA) (Shahidi & Ambigaipalan, 2018). Beslenme açısından başlıca üyeleri α-linolenik asit (ALA), eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asittir (DHA) (Shahidi & Ambigaipalan, 2018). İnsan vücudunda sentezlenemeyen ALA, bitkisel yağlar ve yağlı tohumlardan sağlanan esansiyel bir yağ asididir (Salar & Uz, 2021). ALA'dan EPA ve DHA sentezlenebilmesine karşın, özellikle DHA'ya dönüşümün sınırlı olması, EPA ve DHA'nın doğrudan besinsel kaynaklardan alınmasının önemini artırmaktadır (Saini & Keum, 2018; Calder, 2016). EPA ve DHA'nın temel besinsel kaynakları balık ve diğer deniz ürünleridir (Swanson et al., 2012). Bu uzun zincirli omega-3 yağ asitleri, inflamatuvar yanıtın düzenlenmesi, kardiyovasküler işlevler, nörolojik gelişim ve bağışıklık sistemi üzerindeki rolleri nedeniyle kapsamlı biçimde araştırılmaktadır (Swanson et al., 2012). EPA ve DHA, hücre membranlarının yapısal özelliklerini değiştirerek membran proteinlerinin işlevini, hücresel sinyal iletimini ve gen ekspresyonunu etkileyebilmektedir (Mozaffarian & Wu, 2011; Calder, 2015). Ayrıca eikosanoid üretimini değiştirmeleri ve biyolojik olarak aktif lipid mediyatörlerinin sentezine katılmaları, inflamatuvar yanıtın düzenlenmesindeki rollerinin temelini oluşturmaktadır (Mozaffarian & Wu, 2011; Calder, 2015).

İnflamasyon, organizmanın enfeksiyon, doku hasarı ve diğer zararlı uyaranlara karşı geliştirdiği fizyolojik bir savunma yanıtıdır (Medzhitov, 2008). Bu süreçte bağışıklık hücrelerinin aktivasyonu, inflamatuvar mediyatörlerin salınımı ve çeşitli hücresel sinyal yolaklarının düzenlenmesi birbiriyle ilişkili biçimde gerçekleşmektedir (Bodur et al., 2025). İnflamatuvar yanıtın süreklilik kazanması veya yeterince çözümlenememesi kardiyovasküler hastalıklar, metabolik bozukluklar ve romatoid artrit gibi kronik hastalıklarla ilişkilidir (Furman et al., 2019). Bu nedenle inflamasyonun yalnızca baskılanması değil, çözülme sürecinin desteklenmesi de önemlidir (Buckley et al., 2014; Bodur et al., 2025). EPA ve DHA'nın inflamatuvar yanıtın düzenlenmesindeki rolleri; bağışıklık hücreleri, sitokin üretimi ve nükleer faktör kappa B (NF-κB) ile peroksizom proliferatörleriyle aktive edilen reseptör gama (PPARγ) üzerindeki etkileri üzerinden araştırılmaktadır (Calder, 2012; Gutiérrez et al., 2019; Bodur et al., 2025).

Omega-3 desteğinin standart ilaç tedavileriyle birlikte kullanımı da klinik araştırmalara konu olmuştur. Özellikle romatoid artritte antiinflamatuvar ilaç kullanımı ve kanser hastalarında kemoterapiye verilen yanıt gibi sonuçlar değerlendirilmiştir (Lee et al., 2012; Murphy et al., 2011).

Bu derlemenin amacı, EPA ve DHA'nın inflamatuvar süreçler üzerindeki etkilerini ve bu etkilerin farmakolojik tedavilere verilen yanıtla olası ilişkisini bilimsel kanıtlar doğrultusunda

değerlendirmektir. Bu kapsamda omega-3 yağ asitlerinin temel etki mekanizmaları, ilaçlarla birlikte kullanımına ilişkin klinik bulgular ve kişiselleştirilmiş beslenme açısından olası önemi ele alınmaktadır.

2.ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1.Omega-3 Yağ Asitlerinin İnflamatuvar Süreçler Üzerindeki Etki Mekanizmaları

EPA ve DHA'nın membran fosfolipitlerine katılması, hücre zarının yağ asidi bileşimini ve sinyal iletiminde görev alan lipid raftların düzenini değiştirebilmektedir (Norris & Dennis, 2012; Calder, 2015). Omega-3 alımıyla membran EPA ve DHA düzeyleri yükselirken araşidonik asit (AA) miktarı azalabilmektedir (Calder, 2012; Calder, 2015). Araşidonik asit (AA), siklooksijenaz (COX) ve lipoksijenaz (LOX) enzimleri aracılığıyla prostaglandin, tromboksan ve lökotrienlerin sentezinde kullanılmaktadır (Hanna & Hafez, 2018). EPA'nın aynı enzimatik yolaklarda AA ile rekabet etmesi, AA kaynaklı bazı eikosanoidlerin üretimini azaltırken farklı biyolojik özelliklere sahip EPA türevlerinin oluşumunu artırabilmektedir (Calder, 2013, 2015; Ishihara et al., 2019). AA kaynaklı mediyatörlerin bir bölümü damar geçirgenliğini, lökosit aktivasyonunu ve hücre göçünü desteklediğinden, üretimlerindeki bu değişiklikler inflamatuvar yanıtı etkileyebilmektedir; ancak bu mediyatörlerin tümü aynı etkiye sahip değildir (Calder, 2013, 2015; Hanna & Hafez, 2018).

Lipopolisakkarit (LPS) gibi inflamatuvar uyaranlar, hücre yüzeyindeki reseptörler aracılığıyla NF-κB sinyal yolunun aktivasyonunu başlatabilmektedir (Calder, 2013). Bu süreçte NF-κB'nin inhibitör proteini olan IκB'nin fosforilasyonu ve yıkımı, NF-κB'nin hücre çekirdeğine geçerek hedef genlerin transkripsiyonunu artırmasına olanak sağlamaktadır (Calder, 2013). EPA ve DHA'nın bazı deneysel modellerde bu aktivasyon sürecini baskılayarak inflamatuvar gen ekspresyonunu azalttığı bildirilmiştir (Calder, 2013; Bodur et al., 2025).

EPA ve DHA'nın inflamatuvar yanıt üzerindeki etkileriyle ilişkili mekanizmalardan biri de PPARγ aracılı düzenlemedir (Li et al., 2005; Calder, 2013). PPARγ, lipid ve glukoz metabolizmasının düzenlenmesinde görev alan ve inflamasyonla ilişkili genlerin ekspresyonunu etkileyen bir nükleer reseptördür (Széles et al., 2007). Omega-3 yağ asitleri, bu reseptörün aktivitesini etkileyerek NF-κB aracılı inflamatuvar gen ekspresyonunun baskılanmasına ve inflamatuvar yanıtın sınırlandırılmasına katkıda bulunabilmektedir (Calder, 2013; Bodur et al., 2025).

Bu mekanizmaya ilişkin insan verileri de bulunmaktadır. Tip 2 diyabetli 50 bireyle yürütülen randomize, çift kör bir çalışmada, sekiz hafta boyunca günlük 2.400 mg DHA'dan zengin balık yağı desteği alan grupta periferik kan mononükleer hücrelerinde PPARγ aktivitesinin plasebo grubuna göre anlamlı düzeyde arttığı bildirilmiştir (Naeini et al., 2020). Buna karşılık, NF-κB mRNA ekspresyonundaki değişim açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Naeini et al., 2020).

EPA ve DHA'nın proinflamatuvar sitokinlerin üretimi ve gen ekspresyonu üzerindeki etkileri, makrofaj modellerinde incelenmiştir (Weldon et al., 2007; Xue et al., 2012). Deneysel makrofaj modellerinde EPA ve DHA uygulamasının lipopolisakkarit (LPS) ile uyarılan TNF-α, IL-6 ve IL-1β gen ekspresyonunu azalttığı bildirilmiştir (Xue et al., 2012). İnsan THP-1 monositlerinden farklılaştırılan makrofajlarda da bu sitokinlerin üretimi ve mRNA ekspresyonunda azalma saptanmıştır (Weldon et al., 2007).

İnsan çalışmalarında da omega-3 desteğinin inflamatuvar ve oksidatif stres göstergeleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Tip 2 diyabetli bireylerde yürütülen kontrollü çalışmaları birleştiren bir meta-analizde, TNF-α düzeylerinde anlamlı azalma ve toplam antioksidan kapasitede artış bildirilmiş; ancak genel analizde CRP, IL-6, malondialdehit ve süperoksit

dismutaz düzeyleri üzerinde anlamlı bir etki saptanmamıştır (Muzammil et al., 2024).

2.2. Omega-3 Yağ Asitlerinin İlaç Yanıtı ile İlişkisi

Omega-3 yağ asitlerinin standart ilaç tedavilerine ek olarak kullanımı, ilaçların farmakokinetik özellikleri, antiinflamatuvar ilaç kullanımı ve kemoterapiye ilişkin klinik sonuçlar açısından araştırılmıştır (Kim et al., 2022; Lee et al., 2012; Murphy et al., 2011).

2.2.1. Omega-3 Yağ Asitleri ve Antiinflamatuvar İlaç Kullanımı

Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİİ), siklooksijenaz (COX) enzimlerinin aktivitesini inhibe ederek prostaglandin sentezini azaltan ve inflamasyonla ilişkili ağrı ile diğer semptomların kontrolünde kullanılan ilaçlardır (Galarraga et al., 2008). EPA'nın araşidonik asit (AA) ile ortak enzimatik yolaklarda metabolize edilmesi ve EPA ile DHA'nın inflamatuvar mediyatörlerin üretimi üzerindeki düzenleyici etkileri, omega-3 yağ asitlerinin NSAİİ tedavisine ek olarak kullanımının araştırılmasına temel oluşturmuştur (Calder, 2013).Ancak omega-3 yağ asitlerinin bu mekanizmalar üzerinden etki göstermesi, NSAİİ'lerle aynı farmakolojik etkiyi oluşturdukları veya bu ilaçların yerine kullanılabilecekleri anlamına gelmemektedir (Calder, 2013; Galarraga et al., 2008).

Romatoid artrit, kronik inflamasyonun eklem dokularında hasara yol açabildiği ve ağrı kontrolü amacıyla NSAİİ'lerin kullanılabildiği otoimmün bir hastalıktır (Galarraga et al., 2008). Bu ilaçların özellikle gastrointestinal ve kardiyovasküler advers etkilerine ilişkin kaygılar, semptom kontrolünü sürdürürken NSAİİ kullanımını azaltabilecek destekleyici yaklaşımların araştırılmasına neden olmuştur (Galarraga et al., 2008).

Omega-3 desteğinin ilaç kullanımına etkisini değerlendiren bir diğer araştırma, psoriatik artritli hastalarda yürütülmüştür. Kristensen ve arkadaşlarının (2018), 145 hastanın katıldığı randomize, çift kör çalışmasında, 24 hafta boyunca günlük 3 g omega-3 veya kontrol olarak 3 g zeytinyağı uygulanmıştır. Omega-3 grubunda NSAİİ ve parasetamol kullanımında kontrol grubuna göre anlamlı azalma bildirilmiş (p = 0,04); ancak hastalık aktivitesi göstergelerindeki değişimler açısından gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır (Kristensen et al., 2018). Lee ve arkadaşlarının romatoid artritli toplam 370 katılımcıyı içeren 10 randomize kontrollü çalışmayı değerlendirdiği meta-analizde, omega-3 desteğinin NSAİİ kullanımını plaseboya göre anlamlı düzeyde azalttığı bildirilmiştir (SMD: −0,518; %95 GA: −0,915 ile −0,121; p = 0,011) (Lee et al., 2012). Araştırmacılar, günlük en az 2,7 g omega-3 desteğinin en az üç ay süreyle kullanımının NSAİİ tüketimini azaltabileceğini belirtmiştir (Lee et al., 2012). Bununla birlikte, hassas ve şiş eklem sayısı, sabah tutukluğu ve fiziksel işlev açısından anlamlı bir iyileşme gösterilememiştir (Lee et al., 2012).

Daha sonra Gkiouras ve arkadaşlarının (2024) 23 randomize, plasebo kontrollü çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde, omega-3 desteğinin ağrı, hassas eklem sayısı ve şiş eklem sayısı üzerindeki etkilerinin küçük olduğu ve istatistiksel anlamlılığa ulaşmadığı bildirilmiştir (Gkiouras et al., 2024). NSAİİ kullanımına ilişkin duyarlılık analizinde de azalma yönünde bir etki gözlenmekle birlikte bu sonuç istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (SMD: −0,22; %95 GA: −0,90 ile 0,46) (Gkiouras et al., 2024). Ayrıca araştırmacılar, değerlendirilen kanıtların kesinlik düzeyinin çoğunlukla düşük veya çok düşük olduğunu ve önceki çalışmalarda bildirilen NSAİİ kullanımındaki azalmanın körleme yöntemlerindeki yetersizliklerden etkilenmiş olabileceğini belirtmiştir (Gkiouras et al., 2024).

Lee ve arkadaşlarının (2012) analizinde NSAİİ tüketiminde istatistiksel olarak anlamlı azalma bildirilmesine karşın Gkiouras ve arkadaşlarının (2024) daha geniş sentezinde duyarlılık analizi anlamlı bulunmamıştır. Bu uyumsuzluk, çalışmaların sayısı ve dahil edilme ölçütleri, körleme kalitesi, müdahale dozu ve süresi, eş zamanlı tedaviler ile sonuç ölçümlerindeki farklılıklar bağlamında değerlendirilmelidir. Sağlanan metinde bu değişkenlerin çalışma bazında ayrıntıları

bulunmadığından, hangi etmenin farkı ne ölçüde açıkladığı belirlenememektedir. NSAİİ kullanımındaki olası azalma, hastalık aktivitesinde veya işlevsel durumda kanıtlanmış iyileşmeyle eşdeğer kabul edilmemelidir (Lee et al., 2012; Gkiouras et al., 2024).

2.2.2. Omega-3 Yağ Asitlerinin İlaçların Farmakokinetik Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Omega-3 yağ asitlerinin ilaçların emilim, dağılım, metabolizma ve atılım süreçlerini kapsayan farmakokinetik özellikler üzerindeki etkileri klinik çalışmalarda araştırılmıştır (Kim et al., 2022). Özellikle dislipidemi tedavisinde omega-3 yağ asitleri ile statinlerin birlikte kullanılabilmesi, bu bileşenler arasında farmakokinetik bir etkileşim bulunup bulunmadığının değerlendirilmesini önemli hâle getirmiştir (Di Spirito et al., 2008; Kim et al., 2022). Atorvastatinin başlıca CYP3A4 enzimiyle metabolize edilmesi ve doymamış yağ asitlerinin ilaç metabolizmasında görev alan enzimlerin aktivitesini etkileyebildiğini gösteren deneysel bulgular, bu ilişkinin araştırılmasına temel oluşturmuştur (Kim et al., 2022).

Farmakokinetik çalışmalar, bir ilacın vücuttaki maruziyet düzeyini değerlendirmek amacıyla plazma konsantrasyonu-zaman eğrisi altında kalan alan (AUC) ve maksimum plazma konsantrasyonu (Cmax) gibi parametrelerden yararlanmaktadır (Di Spirito et al., 2008; Kim et al., 2022). Bu parametrelerdeki değişiklikler ilaç maruziyetinin farklılaşabileceğini göstermekle birlikte, tek başına tedavi etkinliğinde veya klinik güvenlilikte değişiklik meydana geldiği anlamına gelmemektedir (Kim et al., 2022).

Di Spirito ve arkadaşlarının (2008) 50 sağlıklı yetişkinle yürüttüğü randomize, çapraz tasarımlı çalışmada, günlük 4 g omega-3 yağ asidi etil esteri ile 80 mg atorvastatinin birlikte kullanımının farmakokinetik etkileri değerlendirilmiştir (Di Spirito et al., 2008). Çalışmada omega-3 desteğinin atorvastatin ve aktif metabolitlerinin kararlı durum farmakokinetik özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğe yol açmadığı bildirilmiştir (Di Spirito et al., 2008).

Kim ve arkadaşlarının (2022) sağlıklı erkek katılımcılarda yürüttüğü Faz I klinik araştırmada, günlük 4 g omega-3 ile 40 mg atorvastatinin birlikte kullanımının farmakokinetik etkileri değerlendirilmiştir. Birlikte kullanımda atorvastatinin sistemik maruziyetini gösteren AUC değeri, tek başına atorvastatin kullanımına benzer bulunmuştur. Buna karşılık, aktif metaboliti olan 2-hidroksi-atorvastatinin Cmax ve AUC değerleri sırasıyla yaklaşık %30 ve %19 daha yüksek saptanmıştır (Kim et al., 2022).

2.2.3. Omega-3 Yağ Asitleri ve Kemoterapi İlaçlarına Verilen Yanıt

Omega-3 yağ asitlerinin farmakolojik tedavilerle birlikte kullanımının araştırıldığı bir diğer alan kanser tedavisidir (Newell et al., 2021). Kanserle ilişkili inflamasyonun tümör mikroçevresi, hastalığın ilerlemesi ve antikanser ilaçlara karşı direnç gelişimiyle ilişkili olabilmesi, inflamatuvar süreçleri etkileyen bileşenlerin kemoterapiyle birlikte değerlendirilmesine yönelik bilimsel ilgiyi artırmıştır (de Visser & Jonkers, 2009). Deneysel araştırmalarda EPA ve DHA'nın tümör hücrelerinin çoğalması, hücre döngüsü ve apoptoz gibi süreçlerle ilişkili etkileri incelenmiş; ancak bu bulguların klinik tedavi yanıtına ne ölçüde yansıdığı henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır (Newell et al., 2021). Bu nedenle klinik araştırmalarda omega-3 desteğinin yalnızca tümör yanıtı üzerindeki etkileri değil, kemoterapiye bağlı advers etkiler, beslenme durumu ve yaşam kalitesi gibi hasta açısından önemli sonuçlarla ilişkisi de değerlendirilmiştir (Newell et al., 2021).

Murphy ve arkadaşlarının (2011), ileri evre küçük hücreli olmayan akciğer kanseri (NSCLC) tanısıyla çalışmayı tamamlayan 46 hastayı değerlendirdiği araştırmada, 15 hasta standart kemoterapiye ek olarak günlük toplam 2,5 g EPA ve DHA içeren balık yağı desteği almış, 31 hastaya ise yalnızca standart kemoterapi uygulanmıştır. Tedaviye yanıt oranı, balık yağı desteği alan grupta %60,0, yalnızca standart kemoterapi alan grupta ise %25,8 olarak bildirilmiştir

(Murphy et al., 2011). Aynı çalışmada, tam yanıt, kısmi yanıt ve stabil hastalığı kapsayan klinik yarar oranı omega-3 grubunda %80,0, standart tedavi grubunda ise %41,9 olarak bulunmuştur (Murphy et al., 2011).

Buna karşılık, Camargo ve arkadaşlarının (2019) gastrointestinal sistem kanseri hastalarında yürüttüğü randomize, plasebo kontrollü çalışmada, günlük 1,55 g EPA ve DHA desteğinin kemoterapi yanıtında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı; ancak diyare şiddetinin daha düşük ve performans durumunun daha iyi olduğu bildirilmiştir (Camargo et al., 2019).

Newell ve arkadaşlarının (2021), farklı kanser türlerinde EPA ve/veya DHA desteğini değerlendiren 57 klinik araştırmayı kapsayan derlemesinde, vücut ağırlığının korunması, yaşam kalitesinin iyileşmesi ve ciddi advers olayların azalması yönünde bulgular bildiren çalışmalar bulunduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte yazarlar, uygun doz ve formülasyonun belirlenmesi için daha geniş örneklemli, iyi kontrollü randomize araştırmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır (Newell et al., 2021).

2.3. Klinik Bulgular ve Kişiselleştirilmiş Beslenme

Omega-3 yağ asitlerinin farmakolojik tedavi yanıtı üzerindeki etkileri, farklı hastalık gruplarında çeşitli klinik ve farmakokinetik ölçütler üzerinden araştırılmaktadır. Romatoid artrit çalışmalarında NSAİİ kullanım miktarı değerlendirilirken (Lee et al., 2012; Gkiouras et al., 2024), statinlerle yürütülen çalışmalarda ilaç maruziyetini gösteren eğri altında kalan alan (AUC) ve maksimum plazma konsantrasyonu (Cmax) gibi farmakokinetik parametreler incelenmektedir (Di Spirito et al., 2008; Kim et al., 2022). Kanser tedavisine yönelik araştırmalarda ise tümör yanıtı ve hastalığa özgü klinik sonuçlar değerlendirilmektedir (Newell et al., 2021). Çalışmalarda kullanılan omega-3 dozları, müdahale süreleri, katılımcı özellikleri ve eş zamanlı uygulanan tedaviler farklılık gösterdiğinden, elde edilen bulguların ilgili hasta grubu ve tedavi koşulları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Omega-3 yağ asitlerine verilen bireysel yanıtların farklılaşmasında genetik özellikler de rol oynayabilmektedir. Yağ asidi metabolizmasında görev alan desatüraz ve elongaz enzimlerini kodlayan FADS ve ELOVL genlerindeki varyasyonlar, besinlerle alınan öncü yağ asitlerinin uzun zincirli omega-3 yağ asitlerine dönüşümünü etkileyebilmektedir (Chilton et al., 2017).

Genetik farklılıkların yanı sıra, bireyin omega-3 düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılan biyokimyasal göstergeler de kişiselleştirilmiş beslenme açısından önem taşımaktadır. Dempsey ve arkadaşlarının (2023) 58 araştırmayı kapsayan derlemesinde, eritrosit zarındaki toplam yağ asitleri içerisinde EPA ve DHA'nın yüzdesini ifade eden omega-3 indeksinin, takviye dozu ve uygulama süresine bağlı olarak değişebildiği bildirilmiştir. Araştırmada, günlük 1000–1500 mg EPA ve DHA takviyesinin omega-3 indeksinde yaklaşık 2–5 yüzde puanlık artış sağlayabildiği belirtilmiştir (Dempsey et al., 2023).

Klinik araştırmalarda elde edilen bulgular, incelenen hastalık türüne ve değerlendirilen sonuçlara göre farklılık göstermektedir. Murphy ve arkadaşları (2011), akciğer kanseri hastalarında omega-3 takviyesinin kemoterapi yanıtı üzerindeki etkilerini araştırırken, Camargo ve arkadaşları (2019) gastrointestinal kanser hastalarında tedavi yanıtının yanı sıra diyare şiddeti ve performans durumunu değerlendirmiştir. Bu çalışmaların farklı hasta gruplarında yürütülmesi ve farklı klinik sonuçları incelemesi, elde edilen bulguların doğrudan karşılaştırılmasını ve tüm kanser türlerine genellenmesini sınırlandırmaktadır (Murphy et al., 2011; Camargo et al., 2019).

2.3.1. İlaç Kullanımı ve Güvenlilik

Omega-3 desteğinin ilaç dozajı ve tedavi süresi üzerindeki olası etkileri, klinik uygulama açısından önem taşıyan bir diğer konudur. Bazı araştırmalarda ilaç kullanımının

azaltılabileceğine ilişkin bulgular elde edilmiş olsa da bu sonuçlar, omega-3 desteğinin ilaç dozlarını doğrudan değiştirdiğini veya tedavi süresini kısalttığını göstermek için yeterli değildir (Lee et al., 2012; Gkiouras et al., 2024). Özellikle daha güncel meta-analizlerde klinik yararın sınırlı ve kanıtların kesinlik düzeyinin düşük olması, ilaç tedavisinde yapılacak değişikliklerin yalnızca omega-3 kullanımına dayandırılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır (Gkiouras et al., 2024). Bu nedenle omega-3 desteğinin tedavi sürecine eklenmesi, ilaçların doz veya kullanım süresinin değiştirilmesinden ayrı bir klinik karar olarak değerlendirilmelidir (Gkiouras et al., 2024).

Omega-3 yağ asitlerinin ilaç tedavileriyle birlikte kullanımında güvenlilik de dikkate alınmalıdır. Özellikle yüksek doz EPA ve DHA kullanımında atriyal fibrilasyon riskine ilişkin bulgular bulunması ve antikoagülan tedavi alan hastalarda olası etkileşimlerin izlenmesi gerekliliği, desteğin her birey için aynı şekilde planlanamayacağını göstermektedir (National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements [NIH ODS], 2025). Bununla birlikte, omega-3 desteğinin klinik açıdan anlamlı kanama riskini genel olarak artırdığı yönünde tutarlı kanıt bulunmadığından, olası risklerin kullanılan ilaçlar ve bireysel klinik durum çerçevesinde değerlendirilmesi önemlidir (NIH ODS, 2025).

3.SONUÇ VE ÖNERİLER

EPA ve DHA, hücre zarının bileşimini, lipid mediyatörlerinin üretimini ve inflamasyonla ilişkili sinyal yollarını etkileyebilmektedir. Bu etkiler, omega-3 yağ asitlerinin ilaç tedavileriyle birlikte araştırılması için biyolojik bir temel oluşturmaktadır. Ancak deneysel çalışmalarda gözlenen değişiklikler, hastalarda ilaç etkinliğinin arttığını tek başına göstermemektedir.Bu derlemede değerlendirilen klinik bulgular, hasta grubuna ve ölçülen sonuca göre farklılık göstermektedir. Artritli hastalarda bazı araştırmalar NSAİİ kullanımında azalma bildirse de bu sonuçlar meta-analizlerde tutarlı biçimde doğrulanmamıştır. Atorvastatinle birlikte kullanımda gözlenen farmakokinetik değişikliklerin tedavi sonuçlarına yansıması henüz açıklığa kavuşmamıştır. Kemoterapi araştırmalarında ise tümör yanıtı, tedaviye bağlı advers etkiler ve beslenme durumuna ilişkin bulgular ayrı değerlendirilmelidir. Bu nedenle omega-3 desteğinin ilaç etkisini genel olarak artırdığı sonucuna varılamaz.Genetik özellikler ve başlangıç omega-3 düzeyi, bireysel biyokimyasal yanıtın anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, bu bilgilerden hareketle ilaç etkinliğini öngörmek veya ilaç dozunu belirlemek için mevcut kanıtlar yeterli değildir. Omega-3 desteği değerlendirilirken beslenme durumu, kullanılan ürün ve doz, eş zamanlı ilaçlar ve güvenlilik bulguları birlikte dikkate alınmalıdır. Standart tedavide yapılacak değişiklikler yalnızca omega-3 kullanımına dayandırılmamalıdır. Gelecek araştırmalarda biyokimyasal değişikliklerle klinik yarar arasındaki ilişkinin, başlangıç özellikleri ve tedavi koşulları açık biçimde tanımlanmış hasta gruplarında incelenmesi gerekmektedir.

Kısaltmalar

AA	Araşidonik asit
ALA	Alfa-linolenik asit
AUC	Plazma konsantrasyonu–zaman eğrisi altında kalan alan
Cmax	Maksimum plazma konsantrasyonu
COX	Siklooksijenaz
CRP	C-reaktif protein
CYP3A4	Sitokrom P450 3A4
DHA	Dokosaheksaenoik asit

Kısaltmalar

ELOVL	Çok uzun zincirli yağ asitlerinin uzatılmasında görev alan elongazları kodlayan gen ailesi
EPA	Eikosapentaenoik asit
FADS	Yağ asidi desatürazlarını kodlayan gen ailesi
GA	Güven aralığı
IL-1β	İnterlökin-1 beta
IL-6	İnterlökin-6
IκB	Nükleer faktör kappa B inhibitörü
LOX	Lipoksijenaz
LPS	Lipopolisakkarit
mRNA	Haberci ribonükleik asit
NF-κB	Nükleer faktör kappa B
NIH ODS	ABD Ulusal Sağlık Enstitüleri, Besin Takviyeleri Ofisi
NSAİİ / NSAID	Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar
NSCLC	Küçük hücreli olmayan akciğer kanseri
PPARγ	Peroksizom proliferatörleriyle aktive edilen reseptör gama
PUFA	Çoklu doymamış yağ asitleri
SMD	Standartlaştırılmış ortalama fark
THP-1	İnsan monositik lösemi hücre hattı
TNF-α	Tümör nekroz faktörü alfa

AA	Araşidonik asit
ALA	Alfa-linolenik asit
AUC	Plazma konsantrasyonu–zaman eğrisi altında kalan alan
Cmax	Maksimum plazma konsantrasyonu
COX	Siklooksijenaz
CRP	C-reaktif protein
CYP3A4	Sitokrom P450 3A4
DHA	Dokosaheksaenoik asit
ELOVL	Çok uzun zincirli yağ asitlerinin uzatılmasında görev alan elongazları kodlayan gen ailesi
EPA	Eikosapentaenoik asit
FADS	Yağ asidi desatürazlarını kodlayan gen ailesi
GA	Güven aralığı
IL-1β	İnterlökin-1 beta
IL-6	İnterlökin-6
IκB	Nükleer faktör kappa B inhibitörü
LOX	Lipoksijenaz
LPS	Lipopolisakkarit
mRNA	Haberci ribonükleik asit
NF-κB	Nükleer faktör kappa B
NIH ODS	ABD Ulusal Sağlık Enstitüleri, Besin Takviyeleri Ofisi
NSAİİ / NSAID	Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar
NSCLC	Küçük hücreli olmayan akciğer kanseri
PPARγ	Peroksizom proliferatörleriyle aktive edilen reseptör gama

Kısaltmalar

PUFA	Çoklu doymamış yağ asitleri
SMD	Standartlaştırılmış ortalama fark
THP-1	İnsan monositik lösemi hücre hattı
TNF-α	Tümör nekroz faktörü alfa

KAYNAKÇA

Bodur, M., Yilmaz, B., Ağagündüz, D., & Ozogul, Y. (2025). Immunomodulatory effects of omega-3 fatty acids: Mechanistic insights and health implications. *Molecular Nutrition & Food Research, 69*(10), Article e202400752. https://doi.org/10.1002/mnfr.202400752

Buckley, C. D., Gilroy, D. W., & Serhan, C. N. (2014). Proresolving lipid mediators and mechanisms in the resolution of acute inflammation. *Immunity, 40*(3), 315–327. https://doi.org/10.1016/j.immuni.2014.02.009

Calder, P. C. (2012). Mechanisms of action of (n-3) fatty acids. *The Journal of Nutrition, 142*(3), 592S–599S. https://doi.org/10.3945/jn.111.155259

Calder, P. C. (2013). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: Nutrition or pharmacology? *British Journal of Clinical Pharmacology, 75*(3), 645–662. https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04374.x

Calder, P. C. (2015). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)—Molecular and Cell Biology of Lipids, 1851*(4), 469–484. https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.08.010

Calder, P. C. (2016). Docosahexaenoic acid. *Annals of Nutrition and Metabolism, 69*(Suppl. 1), 8–21. https://doi.org/10.1159/000448262

Camargo, C. de Q., Mocellin, M. C., Brunetta, H. S., Chagas, T. R., Fabre, M. E. de S., Trindade, E. B. S. de M., da Silva, E. L., & Nunes, E. A. (2019). Fish oil decreases the severity of treatment-related adverse events in gastrointestinal cancer patients undergoing chemotherapy: A randomized, placebo-controlled, triple-blind clinical trial. *Clinical Nutrition ESPEN, 31*, 61–70. https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.02.015

Chilton, F. H., Dutta, R., Reynolds, L. M., Sergeant, S., Mathias, R. A., & Seeds, M. C. (2017). Precision nutrition and omega-3 polyunsaturated fatty acids: A case for personalized supplementation approaches for the prevention and management of human diseases. *Nutrients, 9*(11), Article 1165. https://doi.org/10.3390/nu9111165

Dempsey, M., Rockwell, M. S., & Wentz, L. M. (2023). The influence of dietary and supplemental omega-3 fatty acids on the omega-3 index: A scoping review. *Frontiers in Nutrition, 10*, Article 1072653. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1072653

de Visser, K. E., & Jonkers, J. (2009). Towards understanding the role of cancer-associated inflammation in chemoresistance. *Current Pharmaceutical Design, 15*(16), 1844–1853. https://doi.org/10.2174/138161209788453239

Di Spirito, M., Morelli, G., Doyle, R. T., Johnson, J., & McKenney, J. (2008). Effect of omega-3-acid ethyl esters on steady-state plasma pharmacokinetics of atorvastatin in healthy adults. *Expert Opinion on Pharmacotherapy, 9*(17), 2939–2945. https://doi.org/10.1517/14656560802233827

Furman, D., Campisi, J., Verdin, E., Carrera-Bastos, P., Targ, S., Franceschi, C., Ferrucci, L., Gilroy, D. W., Fasano, A., Miller, G. W., Miller, A. H., Mantovani, A., Weyand, C. M., Barzilai,

N., Goronzy, J. J., Rando, T. A., Effros, R. B., Lucia, A., Kleinstreuer, N., & Slavich, G. M. (2019). Chronic inflammation in the etiology of disease across the life span. *Nature Medicine, 25*(12), 1822–1832. https://doi.org/10.1038/s41591-019-0675-0

Galarraga, B., Ho, M., Youssef, H. M., Hill, A., McMahon, H., Hall, C., Ogston, S., Nuki, G., & Belch, J. J. F. (2008). Cod liver oil (n-3 fatty acids) as an non-steroidal anti-inflammatory drug sparing agent in rheumatoid arthritis. *Rheumatology, 47*(5), 665–669. https://doi.org/10.1093/rheumatology/ken024

Gkiouras, K., Grammatikopoulou, M. G., Myrogiannis, I., Papamitsou, T., Rigopoulou, E. I., Sakkas, L. I., & Bogdanos, D. P. (2024). Efficacy of n-3 fatty acid supplementation on rheumatoid arthritis' disease activity indicators: A systematic review and meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64*(1), 16–30. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2104210

Gutiérrez, S., Svahn, S. L., & Johansson, M. E. (2019). Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. *International Journal of Molecular Sciences, 20*(20), Article 5028. https://doi.org/10.3390/ijms20205028

Hanna, V. S., & Hafez, E. A. A. (2018). Synopsis of arachidonic acid metabolism: A review. *Journal of Advanced Research, 11*, 23–32. https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.03.005

Ishihara, T., Yoshida, M., & Arita, M. (2019). Omega-3 fatty acid-derived mediators that control inflammation and tissue homeostasis. *International Immunology, 31*(9), 559–567. https://doi.org/10.1093/intimm/dxz001

Kim, J. H., Sunwoo, J., Song, J. H., Seo, Y.-B., Jung, W. T., Nam, K.-Y., Kim, Y., Lee, H. J., Moon, J., Jung, J.-G., & Hong, J. H. (2022). Pharmacokinetic interaction between atorvastatin and omega-3 fatty acid in healthy volunteers. *Pharmaceuticals, 15*(8), Article 962. https://doi.org/10.3390/ph15080962

Kristensen, S., Schmidt, E. B., Schlemmer, A., Rasmussen, C., Johansen, M. B., & Christensen, J. H. (2018). Beneficial effect of n-3 polyunsaturated fatty acids on inflammation and analgesic use in psoriatic arthritis: A randomized, double blind, placebo-controlled trial. *Scandinavian Journal of Rheumatology, 47*(1), 27–36. https://doi.org/10.1080/03009742.2017.1287304

Lee, Y.-H., Bae, S.-C., & Song, G.-G. (2012). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and the treatment of rheumatoid arthritis: A meta-analysis. *Archives of Medical Research, 43*(5), 356–362. https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2012.06.011

Li, H., Ruan, X. Z., Powis, S. H., Fernando, R., Mon, W. Y., Wheeler, D. C., Moorhead, J. F., & Varghese, Z. (2005). EPA and DHA reduce LPS-induced inflammation responses in HK-2 cells: Evidence for a PPAR-γ-dependent mechanism. *Kidney International, 67*(3), 867–874. https://doi.org/10.1111/j.1523-1755.2005.00151.x

Medzhitov, R. (2008). Origin and physiological roles of inflammation. *Nature, 454*(7203), 428–435. https://doi.org/10.1038/nature07201

Mozaffarian, D., & Wu, J. H. Y. (2011). Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: Effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology, 58*(20), 2047–2067. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.063

Murphy, R. A., Mourtzakis, M., Chu, Q. S. C., Baracos, V. E., Reiman, T., & Mazurak, V. C. (2011). Supplementation with fish oil increases first-line chemotherapy efficacy in patients with advanced nonsmall cell lung cancer. *Cancer, 117*(16), 3774–3780. https://doi.org/10.1002/cncr.25933

Muzammil, K., Khaleel, A. Q., Merza, M. S., Kyada, A., Ariffin, I. A., Verma, S., Kaur, H., & Hasaanzadeh, S. (2024). The effects of ω-3 fatty acids on inflammatory and oxidative stress markers in patients with Type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of

controlled trials. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators, 175*, Article 106887. https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2024.106887

Naeini, Z., Toupchian, O., Vatannejad, A., Sotoudeh, G., Teimouri, M., Ghorbani, M., Nasli-Esfahani, E., & Koohdani, F. (2020). Effects of DHA-enriched fish oil on gene expression levels of p53 and NF-κB and PPAR-γ activity in PBMCs of patients with T2DM: A randomized, double-blind, clinical trial. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 30*(3), 441–447. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2019.10.012

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (2025, August 22). *Omega-3 fatty acids: Fact sheet for health professionals*. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-HealthProfessional/

Newell, M., Mazurak, V., Postovit, L. M., & Field, C. J. (2021). N-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid, and the role of supplementation during cancer treatment: A scoping review of current clinical evidence. *Cancers, 13*(6), Article 1206. https://doi.org/10.3390/cancers13061206

Norris, P. C., & Dennis, E. A. (2012). Omega-3 fatty acids cause dramatic changes in TLR4 and purinergic eicosanoid signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(22), 8517–8522. https://doi.org/10.1073/pnas.1200189109

Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance—A review. *Life Sciences, 203*, 255–267. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049

Salar, B., & Uz, A. (2021). Omega yağ asitleri: Biyolojik etkileri ve bitkisel kaynakları. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, 41*(3), 194–209. https://doi.org/10.52794/hujpharm.920079

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual Review of Food Science and Technology, 9*, 345–381. https://doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850

Swanson, D., Block, R., & Mousa, S. A. (2012). Omega-3 fatty acids EPA and DHA: Health benefits throughout life. *Advances in Nutrition, 3*(1), 1–7. https://doi.org/10.3945/an.111.000893

Széles, L., Törőcsik, D., & Nagy, L. (2007). PPARγ in immunity and inflammation: Cell types and diseases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)—Molecular and Cell Biology of Lipids, 1771*(8), 1014–1030. https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2007.02.005

Weldon, S. M., Mullen, A. C., Loscher, C. E., Hurley, L. A., & Roche, H. M. (2007). Docosahexaenoic acid induces an anti-inflammatory profile in lipopolysaccharide-stimulated human THP-1 macrophages more effectively than eicosapentaenoic acid. *The Journal of Nutritional Biochemistry, 18*(4), 250–258. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.04.003

Xue, B., Yang, Z., Wang, X., & Shi, H. (2012). Omega-3 polyunsaturated fatty acids antagonize macrophage inflammation via activation of AMPK/SIRT1 pathway. *PLOS ONE, 7*(10), Article e45990. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045990

MTHFR POLİMORFİZMLERİ, FOLAT METABOLİZMASI VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ BESLENME: NÜTRİGENETİK VE NÜTRİGENOMİK BİR ÇALIŞMA

Master's Student Ayşenur GÜNTAÇ
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Department of Health and Biomedical Sciences, Burdur, Türkiye
ORCID:0009-0002-8008-6459
Assoc. Prof. Dr Şükriye YEŞİLOT
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Medicine, Department of Medical Pharmacology
Burdur, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3354-8489
Prof. Dr. Çiğdem AYDIN ACAR
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Medicine, Department of Medical Pharmacology
Burdur, Türkiye
ORCID:0000-0002-1311-2314

ÖZET
Metilentetrahidrofolat redüktaz (MTHFR) geninin C677T ve A1298C polimorfizmleri, folat metabolizmasını ve homosistein düzeylerini etkileyebildiği için nütrigenetik araştırmaların başlıca konularından biridir. Bu çalışmada, iki varyantın folat durumu ve homosistein üzerindeki etkileri, folat ve B12 vitamini alımıyla etkileşimleri, kalp-damar sağlığı, gebelik sonuçları, kronik hastalıklar ve ilaç kullanımı açısından mevcut bulgular ve bu bulguların kişiselleştirilmiş beslenmeye yansımaları ele alınmıştır. Kanıtlar, C677T'nin TT genotipinde özellikle folat yetersizliği koşullarında homosistein düzeylerinin yükseldiğini, folat alımının artırılmasıyla genotipler arasındaki farkın büyük ölçüde azaldığını göstermektedir; A1298C'nin tek başına etkisine ilişkin bulgular ise daha tutarsızdır. Homosistein düşürücü müdahalelerin klinik sonlanımlara yansıması, topluluğun folat durumuna ve incelenen sonlanıma göre değişmektedir: zenginleştirme uygulanmayan düşük folatlı bir toplulukta inme açısından olumlu sonuçlar bildirilirken, geniş bir meta-analizde kalp-damar olayları üzerinde anlamlı etki saptanmamıştır. Genetik bilginin beslenme danışmanlığına eklenmesinin davranış değişikliğine ek katkısı büyük bir randomize araştırmada gösterilememiştir. Yaygın bir MTHFR varyantının varlığı tek başına yüksek doz takviye kullanımını veya belirli bir folat formunun tercih edilmesini gerektirmemektedir; beslenme planı genotipin yanı sıra besin alımı, folat ve B12 durumu, homosistein düzeyi, mevcut hastalıklar ve ilaç kullanımıyla birlikte değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: MTHFR, folat, homosistein, nütrigenetik, nütrigenomik, kişiselleştirilmiş beslenme

MTHFR POLYMORPHISMS, FOLATE METABOLISM, AND PERSONALIZED NUTRITION: A NUTRIGENETIC AND NUTRIGENOMIC STUDY

ABSTRACT

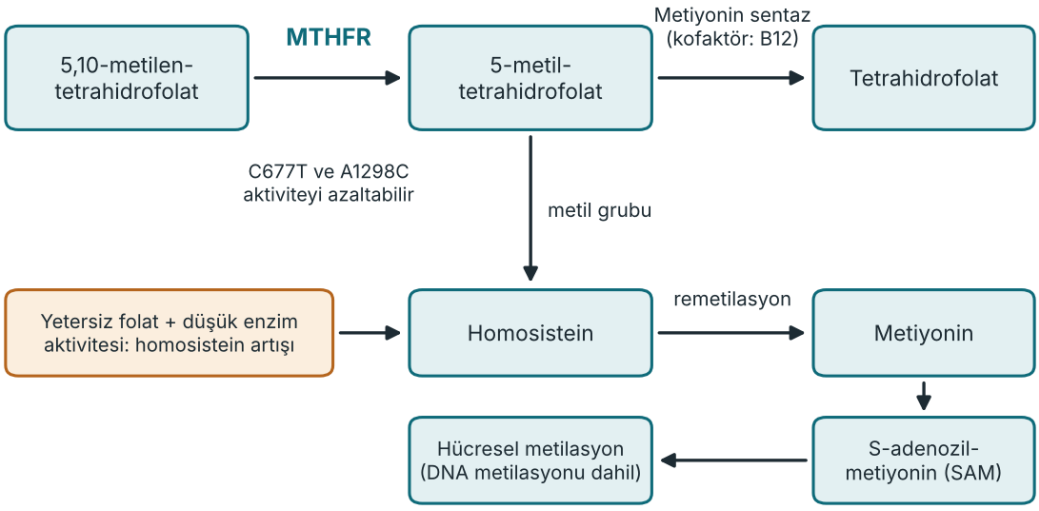
Common polymorphisms of the methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) gene, C677T and A1298C, affect folate metabolism and homocysteine concentrations and are among the main subjects of nutrigenetic research. This narrative review examines the effects of both variants on folate status and homocysteine, their interaction with folate and vitamin B12 intake, and the available evidence on cardiovascular health, pregnancy outcomes, chronic diseases and drug therapy, together with its implications for personalised nutrition. The evidence indicates that homocysteine concentrations are higher in individuals with the C677T TT genotype, particularly under low folate status, and that increasing folate intake largely narrows the difference between genotypes; findings for A1298C alone are less consistent. The clinical impact of homocysteine lowering depends on population folate status and on the outcome studied: a benefit for stroke has been reported in a low-folate population without fortification, whereas a large meta-analysis of trials found no significant effect on cardiovascular events. Adding genetic information to dietary advice provided no additional behavioural benefit in a large randomised trial. The presence of a common MTHFR variant alone does not call for high-dose supplementation or a specific folate form; nutritional planning should consider genotype together with dietary intake, folate and vitamin B12 status, homocysteine levels, current diseases and medication use.

Keywords: MTHFR, folate, homocysteine, nutrigenetics, nutrigenomics, personalised nutrition

1. GİRİŞ

Beslenme ile genetik yapı arasındaki etkileşim, besin ögelerinin vücutta kullanımını ve bireylerin beslenmeye verdikleri farklı yanıtları anlamada önemli bir yere sahiptir (Farhud et al., 2010). Bu ilişkinin birbirini tamamlayan iki alanından nütrigenomik, besin ögeleri ve diğer biyoaktif besin bileşenlerinin gen ifadesi ve genomun işlevleri üzerindeki etkilerini; nütrigenetik ise genetik farklılıkların besin ögelerinin metabolizmasını ve beslenmeye verilen yanıtı nasıl etkilediğini incelemektedir (Farhud et al., 2010; Mead, 2007). Bu çalışmada "nütrigenomik", genotip–besin etkileşimini kapsayan şemsiye terim olarak kullanılmıştır; ancak MTHFR çalışmalarının büyük bölümü genotipin besin ögelerine verilen yanıtı nasıl değiştirdiğini inceleyen nütrigenetik niteliktedir, besinlerin gen ifadesi üzerindeki etkisine ilişkin veriler ise ağırlıklı olarak DNA metilasyonuyla sınırlıdır (Friso et al., 2002). Folat metabolizmasında görev alan MTHFR geni, enzim aktivitesini etkileyen yaygın varyantları ve folat durumuyla ilişkili metabolik sonuçları nedeniyle genetik yapı ile beslenme arasındaki etkileşimin araştırıldığı başlıca genlerden biridir (Colson et al., 2017; Friso et al., 2002).

MTHFR geni, 5,10-metilentetrahidrofolatın 5-metiltetrahidrofolata dönüşümünü katalizleyen metilentetrahidrofolat redüktaz (methylenetetrahydrofolate reductase) enzimini kodlamaktadır (Liew & Gupta, 2015). Oluşan 5-metiltetrahidrofolat, metiyonin metabolizmasının bir ara ürünü olan homosisteinin, B12 vitaminine bağımlı metiyonin sentaz aracılığıyla yeniden metiyonine dönüştürülmesinde metil grubu kaynağı olarak kullanılmaktadır (Liew & Gupta, 2015). Metiyoninin hücresel metilasyon tepkimelerinde görev alan S-adenozilmetiyoninin öncülü olması, folat metabolizması ile DNA metilasyonu arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır (Friso et al., 2002). Bu metabolik ilişkiler Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Folat–homosistein–metiyonin döngüsü ve MTHFR'nin yeri (sadeleştirilmiş şema). Şema, Liew ve Gupta (2015) ile Friso ve arkadaşları (2002) esas alınarak hazırlanmıştır.

Genetik polimorfizm, bir DNA bölgesinin toplumda yaygın olarak bulunan farklı biçimlerini ifade etmekte; MTHFR geninde en çok araştırılan varyantlar arasında C677T ve A1298C yer almaktadır (Hickey et al., 2013; Liew & Gupta, 2015). C677T varyantında sitozinin timinle yer değiştirmesi, enzimde alanin yerine valin bulunmasına yol açarak ısıya duyarlılığı artırmakta ve enzim aktivitesini azaltmaktadır (Frosst et al., 1995). A1298C varyantında ise adenin sitozinle yer değiştirmekte ve glutamatın alaninle değişmesi enzim aktivitesinde azalmayla ilişkilendirilmektedir (Weisberg et al., 1998). Bununla birlikte, bu iki varyantın folat durumu ve homosistein düzeyleri üzerindeki etkileri aynı değildir; homosistein yüksekliği özellikle C677T'nin TT genotipinde ve folat durumunun yetersiz olduğu koşullarda daha belirginken, A1298C'nin tek başına etkisine ilişkin bulgular daha değişkendir (Colson et al., 2017; Lievers et al., 2001). Folat durumu ile C677T genotipinin DNA metilasyonu üzerindeki ortak etkileri de MTHFR–beslenme ilişkisinin homosistein metabolizmasının ötesinde değerlendirilmesine temel oluşturmaktadır (Friso et al., 2002).

Bu metabolik ilişkiler doğrultusunda MTHFR polimorfizmleri; kalp-damar hastalıkları, gebelik sonuçları, kolorektal kanser ve diyabet gibi kronik hastalıklar ile folat metabolizmasını etkileyen ilaçlar açısından araştırılmaktadır; ancak bildirilen ilişkiler hastalık türüne ve incelenen topluluğa göre farklılık göstermektedir (Liew & Gupta, 2015). Kalp-damar sonuçları açısından topluluğun folat durumu ve değerlendirilen hastalık sonlanımı önem taşımaktadır (Bennett et al., 2023; Holmes et al., 2011). Ayrıca MTHFR varyantlarının, folat metabolizmasını etkileyen metotreksatın toksisitesiyle ilişkisi incelenmiş; sonuçların değerlendirilen toksisite türüne ve hasta grubuna göre değişebildiği bildirilmiştir (Campbell et al., 2016).

Kişiselleştirilmiş beslenme, bireyin genetik, fenotipik, klinik ve beslenmeyle ilgili özelliklerinden yararlanarak beslenme önerilerinin bireysel gereksinimlere göre düzenlenmesini amaçlamaktadır (Ordovas et al., 2018). MTHFR genotipinin folat durumu ve folat müdahalelerine verilen biyokimyasal yanıtla ilişkisi, bu genin kişiselleştirilmiş beslenme kapsamında ele alınmasına dayanak oluşturmaktadır (Colson et al., 2017). Bununla birlikte, bu yaklaşımda genetik bilginin mevcut beslenme alışkanlıkları, biyokimyasal göstergeler ve klinik

özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Ordovas et al., 2018).
Bu çalışmada, MTHFR C677T ve A1298C polimorfizmlerinin folat metabolizması üzerindeki etkilerinin nütrigenetik ve nütrigenomik açıdan incelenmesi, folat ve ilişkili B vitaminlerinin alımıyla etkileşimlerinin değerlendirilmesi ve mevcut bulguların klinik uygulamalar ile kişiselleştirilmiş beslenme açısından ele alınması amaçlanmıştır. Bulguların büyük bölümü C677T'ye ilişkin olup A1298C ve bileşik heterozigotluğa (677CT/1298AC) ilişkin kanıt daha sınırlıdır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Yöntem

Bu çalışma anlatımsal (narratif) bir derlemedir. Randomize kontrollü çalışmalar, kohort, olgu-kontrol ve kesitsel araştırmalar, sistematik derlemeler ile meta-analizler ve klinik kılavuzlar değerlendirmeye alınmış; hücre hattı çalışmaları, MTHFR'ye özgü sonuç sunmayan çok varyantlı takviye çalışmaları ve MTHFR–beslenme ilişkisinden bağımsız klinik bağlamlardaki (örneğin psikiyatrik hasta gruplarında metabolik göstergeler) çalışmalar dışlanmıştır. Bulgular çalışma tasarımına göre ayrı ele alınmış; müdahale çalışmaları, gözlemsel çalışmalar ve klinik kılavuzlar birbirinden ayrı değerlendirilmiştir. Öne çıkan çalışmaların özeti Tablo 1'de sunulmuştur.

2.2. Genotip–Besin Etkileşimi: Nütrigenetik Kanıtlar

2.2.1. Folat Alımına Homosistein ve İnflamatuvar Yanıt

MTHFR C677T genotipine göre folat alımına verilen biyokimyasal yanıt, diyet müdahalelerinde homosistein ve inflamatuvar göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir (Ashfield-Watt et al., 2002; de Carvalho Lisboa et al., 2020). Ashfield-Watt ve arkadaşlarının (2002) randomize araştırmasında, TT, CT ve CC genotiplerinin her birinden 42 kişi olmak üzere toplam 126 sağlıklı yetişkin, her biri dört ay süren üç farklı müdahaleyi rastgele belirlenen sırayla tamamlamıştır. Bu müdahaleler; folik asitle zenginleştirilmiş besinlerin tüketilmediği ve plasebo kullanılan karşılaştırma diyeti, doğal ve zenginleştirilmiş besinlerle günlük 400 µg folat alımının hedeflendiği diyet ve karşılaştırma diyetine günlük 400 µg folik asit desteğinin eklendiği uygulamadan oluşmuştur (Ashfield-Watt et al., 2002).
Folattan zengin diyet ve takviye uygulaması sonrasında plazma folat düzeyleri artmış, homosistein düzeyleri ise karşılaştırma diyetine göre azalmıştır; takviye uygulamasında plazma folat düzeyleri daha yüksek olmasına rağmen iki müdahale arasında homosistein açısından anlamlı fark bulunmamıştır (Ashfield-Watt et al., 2002). Karşılaştırma diyeti sonrasında homosistein düzeyleri TT genotipinde 14,5 µmol/L, CC genotipinde 8,9 µmol/L olarak belirlenmiş; folat alımının artırılmasıyla genotipler arasındaki bu farkın azaldığı bildirilmiştir (Ashfield-Watt et al., 2002).
Sebze tüketimine dayalı bir başka randomize araştırmada, fazla kilolu veya obez 48 kadına sekiz hafta boyunca günlük 300 g sebze verilmiş; iki müdahale grubunda bu besinlerden sırasıyla 95 ve 191 µg folat sağlanmıştır (de Carvalho Lisboa et al., 2020). Günlük 191 µg folat sağlayan grupta kan folat düzeyleri bütün genotiplerde artarken, homosistein, TNF-α, IL-6 ve IL-1β düzeylerinde başlangıca göre anlamlı azalma yalnızca TT genotipinde gözlenmiştir (de Carvalho Lisboa et al., 2020). Bu gruptaki TT taşıyıcılarında homosistein düzeyi 10,05 ± 1,66 µmol/L'den 7,11 ± 0,77 µmol/L'ye düşmüş; CT ve CC genotiplerinde ise homosisteindeki değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (de Carvalho Lisboa et al., 2020). Toplam örneklemin 48 kadından oluşması nedeniyle genotip alt grupları küçüktür ve bu bulgular ön bulgu niteliğinde yorumlanmalıdır.

2.2.2. TT ve CT Genotiplerinde Folat ve B12 Desteği

MTHFR C677T polimorfizminde TT homozigot ve CT heterozigot genotipleri, enzim aktivitesini farklı düzeylerde etkileyerek özellikle folat yetersizliğinde homosistein düzeylerinin yükselmesiyle ilişkili olabilmektedir (Colson et al., 2017; Qin et al., 2012). Bu genotiplerde folat ve B12 vitamini desteğine verilen yanıt, kan folat ve B12 düzeyleri ile homosistein konsantrasyonlarında meydana gelen değişiklikler üzerinden değerlendirilmektedir (Colson et al., 2017; Fezeu et al., 2018; Şensoy et al., 2012).

On müdahale çalışmasını kapsayan bir meta-analizde, TT genotipine sahip bireylerin başlangıç serum folat düzeylerinin daha düşük, plazma homosistein düzeylerinin ise daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Colson et al., 2017). En az dört hafta süreyle günlük 400–1670 µg diyet folat eşdeğeri sağlayan müdahalelerin ardından genotipler arasında plazma homosistein düzeyleri açısından anlamlı fark saptanmamış; ancak TT genotipinde serum folat düzeylerindeki artış diğer genotiplere göre daha düşük bulunmuştur (Colson et al., 2017).

Fohr ve arkadaşlarının (2002), 160 kadınla yürüttüğü randomize, çift kör ve plasebo kontrollü çalışmada, sekiz hafta boyunca günlük 400 µg folik asit, 480 µg 5-metiltetrahidrofolat (5-MTHF) veya plasebo uygulanmıştır (Fohr et al., 2002). Folik asit desteğiyle TT, CT ve CC genotiplerinin tamamında plazma homosistein düzeyleri en az %13 azalırken, dördüncü haftada en yüksek azalma %20 ile TT genotipinde gözlenmiştir (Fohr et al., 2002). Aynı çalışmada, 5-MTHF uygulanan CT genotipli bireylerde dördüncü haftada homosistein düzeylerinde %7 oranında anlamlı azalma bildirilmiştir (Fohr et al., 2002).

B12 vitamini, homosisteinin metiyonine dönüşümünü sağlayan metiyonin sentaz enziminin kofaktörü olduğundan, folat desteğinin değerlendirildiği süreçte B12 durumu da önem taşımaktadır (Hiraoka & Kagawa, 2017). Hipertansiyonu olan 1.304 yetişkinin değerlendirildiği gözlemsel araştırmada, folat ve B12 eksikliğinin birlikte bulunduğu bireylerde hiperhomosisteinemi sıklığı %57,4 iken yalnızca B12 eksikliği bulunanlarda %31,1, yalnızca folat eksikliği bulunanlarda ise %23,2 olarak saptanmıştır (Siddiqi et al., 2025). Aynı araştırmada, yeterli folat ve B12 düzeylerine sahip TT genotipli bireylerde daha düşük homosistein düzeyleri bildirilmiştir (Siddiqi et al., 2025).

B12 eksikliği bulunan 95 hastanın incelendiği başka bir çalışmada, tedavi sonrasında serum B12 düzeyleri CC, CT ve TT genotiplerinde sırasıyla 697,62, 656,64 ve 488,76 pg/mL olarak bulunmuştur (Şensoy et al., 2012). Araştırmacılar, TT genotipine sahip bireylerin B12 tedavisine yanıtının CC ve CT genotiplerine göre daha düşük olduğunu bildirmiştir (Şensoy et al., 2012). Ancak karşılaştırmanın tedavi sonrası düzeyler üzerinden yapılması ve genotip alt gruplarının küçük olması nedeniyle bu bulgu, genotipe özgü bir yanıt farkının kesin kanıtı olarak değil, dikkatle yorumlanması gereken bir gözlem olarak değerlendirilmelidir.

2.2.3. A1298C Varyantı ve Bileşik Heterozigotluk

A1298C varyantı, enzimin düzenleyici bölgesinde glutamatın alaninle değişimine yol açmakta ve C677T'ye kıyasla enzim aktivitesini daha az etkilemektedir (Lievers et al., 2001; Weisberg et al., 1998). Weisberg ve arkadaşları, 1298CC homozigotlarda lenfositlerde kontrol aktivitesinin yaklaşık %60'ının korunduğunu, hem C677T hem A1298C varyantı bakımından heterozigot olan bireylerde (çalışmadaki bireylerin yaklaşık %15'i) ise aktivitenin %50–60 ile yalnızca C677T heterozigotu olanlardan daha düşük bulunduğunu bildirmiştir (Weisberg et al., 1998). Buna karşılık Lievers ve arkadaşlarının 190 damar hastası ve 601 görünüşte sağlıklı kontrolü kapsayan çalışmasında, 1298AC genotipinin tek başına enzim aktivitesini ve açlık ile yükleme sonrası homosistein düzeylerini etkilemediği; C677T'nin ise (CT ve TT genotiplerinde) aktiviteyi azalttığı ve homosistein düzeylerini yükselttiği saptanmıştır (Lievers et al., 2001).

Dolayısıyla A1298C'nin klinik önemi özellikle C677T ile birlikte bulunduğunda (677CT/1298AC) tartışılmaktadır. Beslenme müdahale çalışmalarının çoğu C677T genotiplerine göre tabakalandığından, A1298C ve bileşik heterozigotluğa özgü beslenme önerilerini destekleyen kanıt sınırlıdır (Colson et al., 2017); CDC de A1298C varyantının tek başına folat işlenmesini anlamlı biçimde etkilediğine dair yeterli kanıt bulunmadığını belirtmektedir (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2026).

2.3. Beslenme Düzenlemeleri ve Sağlık Sonuçları

2.3.1. Folat Kaynakları, Besin Hazırlama ve Genotip

Folat (B9 vitamini), nükleik asit sentezi, amino asit metabolizması ve metilasyon reaksiyonlarında görev alan, suda çözünen bir B grubu vitaminidir (National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements [NIH ODS], t.y.). Folatın başlıca doğal kaynakları arasında ıspanak, marul, Brüksel lahanası ve kuşkonmaz gibi sebzeler, börülce gibi baklagiller, turunçgiller ve karaciğer bulunmakta; folik asitle zenginleştirilmiş tahıl ürünleri de toplam folat alımına katkıda bulunmaktadır (NIH ODS, t.y.). Besin bileşimi verilerine göre yarım su bardağı pişmiş ıspanak yaklaşık 131 µg, aynı miktarda pişmiş börülce 105 µg ve dört adet kuşkonmaz 89 µg folat sağlamaktadır (NIH ODS, t.y.). Doğal besin folatı ile folik asit arasındaki biyoyararlanım farklılıkları nedeniyle toplam folat alımı, diyet folat eşdeğeri (DFE) cinsinden ifade edilmektedir (NIH ODS, t.y.).

Besinlerin folat içeriği hazırlama ve pişirme yöntemiyle değişmektedir. McKillop ve arkadaşlarının (2002) çalışmasında, çiğ ıspanak ve brokolide sırasıyla 191,8 ve 177,1 µg/100 g olan folat içeriği haşlama sonrasında 94,4 ve 77,0 µg/100 g'a düşmüş; buna karşılık buharda pişirmede ıspanak ve brokolide anlamlı bir azalma saptanmamıştır. Kabuğuyla haşlanan patateste ise folat içeriği çiğ (125,1 µg/100 g) ve haşlanmış (102,8 µg/100 g) örnekler arasında anlamlı farklılık göstermemiştir (McKillop et al., 2002). Folat tutulumunun besine ve pişirme yöntemine bağlı olduğu, dolayısıyla folat alımını artırmaya yönelik önerilerin pişirme önerilerini de içermesi gerektiği bildirilmiştir (McKillop et al., 2002). NIH ODS değerleri DFE cinsinden ve porsiyon bazında, McKillop ve arkadaşlarının değerleri ise mikrobiyolojik yöntemle ölçülen toplam folatın 100 g besindeki miktarı olarak verilmektedir; bu iki veri kümesi doğrudan karşılaştırılmamalıdır.

Folatın besinlerle alınmasından sonra metabolik süreçlerde kullanılması, bu süreçlere katılan enzimlerin işlevleriyle bağlantılıdır; MTHFR enzim varyantları, folat metabolizmasını ve homosisteinin yeniden metiyonine dönüşümünü etkileyebilmektedir (Liew & Gupta, 2015). MTHFR polimorfizmlerinin homosistein düzeyleriyle ilişkisi, folat ve homosistein metabolizmasında görev alan B vitaminlerinin durumuyla birlikte değerlendirilmektedir (Hiraoka & Kagawa, 2017). CDC'ye göre TT genotipli bireylerde, aynı folik asit alımında kan folat düzeyi CC genotipine kıyasla ortalama yaklaşık %16 daha düşüktür; ancak günlük folik asit alımı kan folat düzeyinin MTHFR varyantından daha güçlü bir belirleyicisidir (CDC, 2026). Bu bulgu, Colson ve arkadaşlarının (2017) meta-analiziyle de uyumludur.

2.3.2. Folik Asit Güvenliği ve Doz Sınırları

Takviye kararında yalnızca genotip değil, doz sınırları ve B12 durumu da dikkate alınmalıdır. Yetişkinlerde takviye ve zenginleştirilmiş besinlerden alınan sentetik folik asit için tolere edilebilir üst alım düzeyi günlük 1.000 µg olarak belirlenmiş; yüksek folik asit alımının B12 eksikliğinin hematolojik bulgularını maskeleyebildiği, buna karşın nörolojik hasarın ilerleyebileceği bildirilmiştir (NIH ODS, t.y.). Folik asidin homosisteini düşürücü etkisinin doz arttıkça sürekli artmadığı da gösterilmiştir: PFAT-Hcy araştırmasında etki yaklaşık 1,2 mg/gün sonrasında plato göstermiştir (Huang et al., 2024). CDC de 400 µg'ın üzerindeki dozların her zaman daha iyi olmadığını belirtmektedir (CDC, 2026). Bu nedenle takviye planı, genotipten

bağımsız olarak folat ve B12 durumu ve klinik değerlendirmeye göre yapılmalıdır.

2.3.3. Kalp-Damar Sağlığı

MTHFR polimorfizmlerinin kalp-damar hastalıklarıyla ilişkisi, folat metabolizması ve homosistein düzeylerindeki değişiklikler üzerinden araştırılmaktadır (Liew & Gupta, 2015). Homosistein yüksekliğiyle ilişkilendirilen mekanizmalar arasında oksidatif stres, nitrik okside bağlı damar genişlemesinin bozulması ve damar endotelinde inflamatuvar süreçlerin artması bulunmaktadır (Araszkiewicz et al., 2025).

Koroner kalp hastalığı açısından Klerk ve arkadaşlarının (2002) meta-analizinde, TT genotipi CC genotipine kıyasla daha yüksek hastalık odds'u ile ilişkili bulunmuştur (OR = 1,16; %95 GA: 1,05–1,28) (Klerk et al., 2002). Luo ve arkadaşlarının (2018), 123 çalışmayı ve 87.020 katılımcıyı kapsayan meta-analizinde ise T alelinin C aleline kıyasla daha yüksek koroner arter hastalığı odds'u ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (OR = 1,11; %95 GA: 1,06–1,17) (Luo et al., 2018). Aynı araştırmanın 65 çalışmayı kapsayan lipit analizinde, T aleli taşıyan bireylerin LDL kolesterol düzeyleri taşımayanlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur (SMD = 0,07; %95 GA: 0,01–0,12) (Luo et al., 2018). Bu ilişkilerin büyüklüğü küçüktür ve topluluğa göre değişmektedir; zenginleştirme uygulanmayan düşük folatlı bir toplulukta 156.253 katılımcıyla yürütülen prospektif Çin Kadoorie Biyobankası çalışmasında C677T, 12 yıllık izlemde (12.240 inme olgusu) daha yüksek inme riskiyle ilişkili bulunurken iskemik kalp hastalığı ve incelenen diğer hastalıklarla ilişkili bulunmamıştır (Bennett et al., 2023).

Folat durumunun genotip–hastalık ilişkisindeki yeri, genetik çalışmalar ile randomize araştırmaları birlikte değerlendiren Holmes ve arkadaşlarının (2011) meta-analizinde incelenmiştir (Holmes et al., 2011). TT ve CC genotipleri arasındaki homosistein farkı, düşük folat kategorisindeki Asya çalışmalarında 3,12 µmol/L, folik asitle zenginleştirme uygulamalarının bulunduğu yüksek folat kategorisinde ise 0,13 µmol/L olarak bildirilmiştir (Holmes et al., 2011). Bu kategorilerde TT genotipinin CC genotipine göre inme ile ilişkisi için odds oranları sırasıyla 1,68 ve 1,03 bulunmuştur (Holmes et al., 2011).

Folat müdahalesinin biyokimyasal etkilerini inceleyen PFAT-Hcy araştırmasında, hipertansiyonu ve yüksek homosistein düzeyi bulunan 2.697 yetişkin sekiz müdahale grubuna randomize edilmiş, gerekli ölçümleri bulunan 2.163 katılımcı nihai analize dahil edilmiştir (Huang et al., 2024). Sekiz hafta boyunca günlük 10 mg enalaprille birlikte 0–2,4 mg arasında değişen dozlarda folik asit uygulanmış; genel örneklemde 0,4–0,8 mg/gün dozlarında homosistein düzeylerinde başlangıca göre %7,4–9,9, 2,4 mg/gün dozunda ise %11,2 azalma bildirilmiştir (Huang et al., 2024). TT genotipinde 2,4 mg/gün dozuyla %20,2 azalma gözlenmekle birlikte, genel örneklemde doz–yanıt analizinde homosisteini düşürücü etkinin yaklaşık 1,2 mg/gün sonrasında plato gösterdiği belirtilmiştir (Huang et al., 2024).

Klinik sonlanımların değerlendirildiği Çin İnme Birincil Önleme Çalışması'nda (CSPPT), daha önce inme veya miyokart enfarktüsü geçirmemiş 20.702 hipertansiyon hastası, MTHFR C677T genotiplerine göre tabakalandırıldıktan sonra iki tedavi grubuna rastgele atanmıştır (Huo et al., 2015). Katılımcılara günlük 10 mg enalapril ile birlikte 0,8 mg folik asit veya yalnızca 10 mg enalapril verilmiştir (Huo et al., 2015). Ortanca 4,5 yıllık takipte ilk inme görülme oranı folik asit grubunda %2,7, kontrol grubunda %3,4 olarak saptanmıştır (HR = 0,79; %95 GA: 0,68–0,93) (Huo et al., 2015). Tüm katılımcıları kapsayan bu karşılaştırmada miyokart enfarktüsü ve tüm nedenlere bağlı ölüm açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Huo et al., 2015).

Bu olumlu inme bulgusu, homosistein düşürücü B vitamini çalışmalarının genel tablosuyla birlikte değerlendirilmelidir. Kalp-damar hastalığı riski artmış 37.485 kişiyi kapsayan sekiz

randomize çalışmanın bireysel katılımcı verilerine dayanan meta-analizinde, folik asit uygulaması homosistein düzeylerini ortalama %25 azaltmış; ancak damar olayları, kanser insidansı (oran = 1,05; %95 GA: 0,98–1,13) ve tüm nedenlere bağlı ölüm (oran = 1,02; %95 GA: 0,97–1,08) üzerinde anlamlı bir etki saptanmamıştır (Clarke et al., 2010). Bu bulgular ile CSPPT sonuçları arasındaki görünür çelişkinin olası nedenleri arasında, çalışma topluluklarının folat durumunun ve incelenen sonlanımın farklı olması sayılabilir; nitekim MTHFR–inme ilişkisi yalnızca düşük folatlı topluluklarda belirgin bulunmuştur (Bennett et al., 2023; Holmes et al., 2011; Huo et al., 2015). Dolayısıyla homosistein düşürmenin klinik yararı topluluğun folat durumuna ve sonlanıma bağlıdır ve her koşula genellenemez.

2.3.4. Gebelik Sağlığı

Gebelikte folat, embriyonik gelişim ve plasental büyüme için gerekli DNA sentezi ve metilasyon süreçlerinde görev almakta; MTHFR polimorfizmleri ise folat metabolizmasını etkileyebilmeleri nedeniyle nöral tüp defektleri, gebelik kayıpları ve fetal büyümeyle ilişkili sonuçlar açısından araştırılmaktadır (Araszkiewicz et al., 2025). C677T varyantı ile nöral tüp defektleri arasında ilişki bildirilmekle birlikte, diğer gebelik komplikasyonlarına ilişkin bulgular genotip, beslenme durumu ve incelenen topluluğa göre farklılık göstermektedir (Araszkiewicz et al., 2025).

Tekrarlayan gebelik kaybı açısından, farklı genetik varyantları değerlendiren 124 yayını, 17.278 olguyu ve 16.021 kontrolü kapsayan meta-analizin MTHFR analizlerinde, C677T için TT genotipi CC ve CT genotiplerinin birleşimine kıyasla daha yüksek hastalık odds'u ile ilişkili bulunmuştur (OR = 1,60; %95 GA: 1,36–1,87) (Wen et al., 2023). A1298C için de CC genotipinin AA ve AC genotiplerinin birleşimiyle karşılaştırıldığı resesif modelde anlamlı ilişki bildirilmiştir (OR = 1,79; %95 GA: 1,42–2,26) (Wen et al., 2023). Bununla birlikte, klinik kılavuzlar MTHFR varyantları ile gebelik kaybı arasındaki ilişkinin tutarlı olmadığını belirtmekte ve tekrarlayan düşük değerlendirmesinde rutin MTHFR testi önermemektedir (Hickey et al., 2013; Regan et al., 2023).

Genetik varyasyonlarla folik asit kullanımı arasındaki etkileşim, fetal büyüme açısından da incelenmiştir (Bulloch et al., 2020). SCOPE kohortunun Yeni Zelanda katılımcılarından en az bir genetik varyant için verisi bulunan 1.873 kadının değerlendirildiği araştırmada, folik asit takviyesi kullanmayan A1298C CC genotipli kadınlarda, takviye kullanan AA genotipli kadınlara kıyasla gebelik yaşına göre küçük bebek doğurma (SGA) odds'u daha yüksek bulunmuştur (OR = 2,91; %95 GA: 1,52–5,60) (Bulloch et al., 2020). Benzer şekilde, takviye kullanmayan C677T CT veya TT taşıyıcıları, takviye kullanan CC genotipli kadınlarla karşılaştırıldığında SGA için odds oranı 1,87 olarak bildirilmiştir (%95 GA: 1,21–2,88) (Bulloch et al., 2020).

Yeterli folik asit kullanımı koşullarında yapılan araştırmalarda ise genotip ile olumsuz gebelik sonuçları arasında her zaman ilişki saptanmamıştır (Ye et al., 2022). IVF/ICSI ve embriyo transferi uygulanan, yeterli folik asit desteği alan 692 kadının verilerini inceleyen geriye dönük araştırmada, C677T genotipi ile gebelik elde edilmesi arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır (Ye et al., 2022). Klinik gebelik gelişen 349 kadında da değerlendirilen gebelik sonuçları genotiple ilişkili bulunmamış; yaş ve beden kütle indeksi için düzeltme sonrasında erken doğum açısından anlamlı ilişki saptanmamıştır (Ye et al., 2022).

Folik asidin nöral tüp defektlerinin önlenmesindeki etkisine ilişkin randomize kanıtlar arasında, daha önce bu durumdan etkilenmiş gebeliği bulunan 1.817 kadının katıldığı MRC Vitamin Çalışması yer almaktadır (MRC Vitamin Study Research Group, 1991). Sonucu bilinen 1.195 gebelikte folik asit verilen gruplarda altı, verilmeyen gruplarda 21 nöral tüp defekti saptanmış ve tekrarlama riskinde %72 azalma bildirilmiştir; ancak bu sonuçlar MTHFR genotiplerine göre

değerlendirilmemiştir (MRC Vitamin Study Research Group, 1991). US Preventive Services Task Force (USPSTF), gebelik planlayan veya gebe kalabilecek bireylerde günlük 400–800 µg folik asit desteğinin beklenen döllenmeden en az bir ay önce başlatılmasını ve gebeliğin ilk iki–üç ayında sürdürülmesini önermekte; daha önce nöral tüp defektinden etkilenmiş gebeliği bulunan çok yüksek riskli bireyleri bu genel önerinin kapsamı dışında tutmaktadır (USPSTF, 2023). Yaygın MTHFR varyantlarının bulunması ise folik asitten kaçınma gerekçesi oluşturmamakta; CDC, gebe kalma olasılığı bulunan herkes için MTHFR durumundan bağımsız olarak günlük 400 µg folik asit önermektedir (CDC, 2026).

2.3.5. Kronik Hastalıklarda Risk Yönetimi

MTHFR polimorfizmleri, folat ve homosistein metabolizmasının yanı sıra oksidatif stres ve inflamasyonla bağlantıları nedeniyle çeşitli kronik hastalıklar açısından araştırılmaktadır (Araszkiewicz et al., 2025; Zarembska et al., 2024). Genotip ve besin alımını birlikte değerlendiren bir araştırmada, yüksek folat, B6 ve B12 alımına sahip TT genotipli bireylerde kolon kanseri riski, düşük alıma sahip CC genotipli bireylere göre %30–40 daha düşük bulunmuştur (Slattery et al., 1999); ancak bu karşılaştırmada genotip ve besin alımı birlikte değiştiğinden alımın etkisi genotip içinde ayrı olarak değerlendirilememektedir. Kolorektal kanseri inceleyen bir meta-analizde ise TT genotipini taşıyan bireylerde yüksek toplam folat alımı, düşük alıma kıyasla daha düşük hastalık riskiyle ilişkili bulunmuş; birleştirilmiş risk tahmini 0,63 (%95 GA: 0,41–0,97) olarak bildirilmiştir (Kennedy et al., 2012). Güven aralığının üst sınırının 1'e yakın olması nedeniyle bu ilişki sınırda anlamlıdır.

Folat içeriği yüksek sebze müdahalesinin TT genotipinde homosistein ve inflamatuvar göstergeleri azalttığı bulgusu (de Carvalho Lisboa et al., 2020), genotip–besin etkileşiminin inflamasyon üzerinden de değerlendirilebileceğini göstermekle birlikte küçük örneklemli tek bir çalışmaya dayanmaktadır. Metabolik hastalıklar açısından, Çin'in Dali bölgesinde 445 tip 2 diyabet hastası ve 272 sağlıklı kontrolle yürütülen olgu-kontrol araştırmasında C677T'nin TT genotipi (OR = 1,75) ve A1298C'nin CC genotipi (OR = 3,13), ilgili referans genotiplere kıyasla diyabetle ilişkili bulunmuştur (Liu et al., 2024). Aynı araştırmada, diyabetli katılımcılar arasında C677T'nin CT veya TT genotipini taşıyanların açlık kan glukozu, homosistein ve TNF-α düzeylerinin CC genotipini taşıyanlara göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Liu et al., 2024). Tek bölgeden ve nispeten küçük bir örneklemden elde edilen bu bulguların farklı topluluklarda doğrulanması gerekmektedir.

2.4. Klinik ve Kişiselleştirilmiş Beslenme Açısından Sonuçlar

2.4.1. Beslenme Danışmanlığı: Genetik Testlerle Kişiselleştirilmiş Diyet Planları

MTHFR polimorfizmlerinin folat durumu ve homosistein düzeyleriyle ilişkisi, bu varyantların kişiselleştirilmiş beslenme kapsamında değerlendirilmesine temel oluşturmaktadır (Colson et al., 2017; Hiraoka & Kagawa, 2017). Bununla birlikte, kişiselleştirilmiş beslenme planlaması yalnızca genotipe dayanmamakta; bireyin besin tüketimi, fenotipik özellikleri, biyokimyasal göstergeleri ve klinik durumunu birlikte ele almaktadır (Ordovas et al., 2018).

Beslenme örüntüsünün genetik farklılıklarla etkileşimini inceleyen, Çin'de 3.966 katılımcıyla yürütülen Leng ve arkadaşlarının (2021) kesitsel araştırmasında, dengeli beslenme örüntüsüne kıyasla atıştırmalık ağırlıklı (OR = 1,2; %95 GA: 1,0–1,5) ve et ağırlıklı (OR = 1,3; %95 GA: 1,1–1,6) beslenme örüntüleri hiperhomosisteinemiyle ilişkili bulunmuş; et ağırlıklı beslenme ile MTHFR 677TT genotipi arasında anlamlı çarpımsal etkileşim bildirilmiştir (Leng et al., 2021). Bu bulgular, genotip ile homosistein arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde tek tek besin ögelerinin yanı sıra genel beslenme örüntüsünün de araştırıldığını göstermektedir (Leng et al., 2021).

Genetik bilginin beslenme danışmanlığına eklenmesinin davranış değişikliğine katkısı ise

gösterilememiştir. Yedi Avrupa ülkesinde yürütülen Food4Me randomize araştırmasında, kişiselleştirilmiş öneriler geleneksel beslenme önerisine kıyasla beslenme davranışında daha büyük ve daha uygun değişiklikler sağlamış; ancak mevcut diyete dayalı kişiselleştirmeye fenotipik ve genetik bilgilerin eklenmesinin etkinliği artırdığına dair kanıt bulunmamıştır (Celis-Morales et al., 2017). Bu nedenle genetik testlere dayalı yaklaşımların standart beslenme değerlendirmesine kıyasla ek katkısı ile belirli bir takviyenin biyokimyasal etkisi ayrı değerlendirilmelidir (Ordovas et al., 2018). Nitekim ACMG, klinik değerlendirmede MTHFR polimorfizm testinin klinik yararının sınırlı olduğunu ve rutin olarak istenmemesi gerektiğini bildirmiştir (Hickey et al., 2013).

2.4.2. Farmakogenetik Etkileşimler: Metotreksat Tedavisi ve MTHFR Polimorfizmleri

Metotreksat (MTX), bazı kanserlerin tedavisinde ve romatoid artrit gibi inflamatuvar hastalıklarda kullanılan, folat antagonisti bir antimetabolittir (Cronstein & Aune, 2020; Shen et al., 2021). Hücreye indirgenmiş folat taşıyıcısı RFC1/SLC19A1 aracılığıyla alınan MTX, folilpoliglutamat sentaz enzimi tarafından poliglutamat türevlerine dönüştürülerek hücre içinde tutulmaktadır (Shen et al., 2021). MTX ve poliglutamat türevleri, dihidrofolat redüktazı inhibe ederek dihidrofolatın tetrahidrofolata dönüşümünü sınırlandırmakta; nükleotit ve DNA sentezinin baskılanması, tümör hücrelerinin çoğalmasını engelleyen etkilerine katkıda bulunmaktadır (Shen et al., 2021). Romatoid artritte kullanılan düşük dozlarda ise terapötik etkisi, adenozin salınımının artması ve inflamatuvar yanıtın baskılanması gibi mekanizmalarla açıklanmaktadır (Cronstein & Aune, 2020).

MTX'in folat metabolizması üzerindeki etkileri, MTHFR polimorfizmlerinin tedavi yanıtı ve toksisiteyle ilişkisinin araştırılmasına temel oluşturmaktadır (Shen et al., 2021). C677T ve A1298C polimorfizmleri, enzim aktivitesini ve folat türevlerinin metabolizmasını etkileyebilmeleri nedeniyle MTX'in farmakokinetiği ve toksisitesi açısından incelenmiş; ancak bildirilen ilişkilerin hasta grubu ve tedavi koşullarına göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Campbell et al., 2016; Shen et al., 2021). Çocukluk çağı akut lenfoblastik lösemi ve malign lenfoma hastalarında yürütülen bir araştırmada, 677TT genotipi daha düşük MTX klirensiyle ilişkili bulunmuştur (Faganel Kotnik et al., 2011). Bununla birlikte, belirli bir hasta grubunda gözlenen bu ilişki, TT genotipinin bütün tedavi koşullarında MTX eliminasyonunu yavaşlattığı şeklinde genellenmemelidir (Campbell et al., 2016).

Klinik toksisite açısından, sistematik derlemeleri ve meta-analizleri birlikte değerlendiren bir araştırmada C677T varyantı ile hepatotoksisite, miyelosupresyon, oral mukozit ve gastrointestinal toksisite arasında ilişkiler bildirilmiş; bulguların değerlendirilen klinik tabloya ve toksisite türüne göre değiştiği belirtilmiştir (Campbell et al., 2016). Romatoid artritte Shao ve arkadaşlarının (2017) meta-analizi, toksisite açısından 25 çalışmada 4.063 hastayı, tedavi etkinliği açısından ise 16 çalışmada 2.373 hastayı değerlendirmiştir (Shao et al., 2017). Birleştirilmiş analizlerde C677T polimorfizmi artmış MTX toksisitesiyle ilişkili bulunurken, tedavi etkinliğiyle anlamlı ilişki saptanmamıştır (Shao et al., 2017). Bu bulgular, MTHFR polimorfizmlerinin MTX tedavisindeki olası etkileri değerlendirilirken toksisite ve terapötik etkinliğin ayrı ele alınması gerektiğini göstermektedir (Shao et al., 2017).

2.4.3. Folat Metabolizmasını Etkileyen Diğer İlaçlar

Farklı ilaç grupları folat metabolizmasını etkileyebilmekte; MTHFR polimorfizmleri ile beslenme durumunun bu süreçteki rolü, homosistein düzeyleri ve tedaviye bağlı toksisite açısından araştırılmaktadır (De Mattia & Toffoli, 2009; Vidmar et al., 2019). Bununla birlikte, genotiple ilişkili bulgular ilaç türüne ve incelenen hasta grubuna göre değişmekte, bütün tedavilere genellenebilen bir etki göstermemektedir (De Mattia & Toffoli, 2009).

Antiepileptik ilaçlar açısından Zhu ve arkadaşlarının (2021) araştırmasında, valproat,

okskarbazepin, lamotrijin veya levetirasetam monoterapisi alan hastalar ile en az altı aydır antiepileptik kullanmayan kontrol grubundan oluşan toplam 279 epilepsi hastası değerlendirilmiştir (Zhu et al., 2021). Valproat ve okskarbazepin kullanımı ile MTHFR C677T'nin TT genotipi, yüksek homosistein düzeyleriyle bağımsız olarak ilişkili bulunmuştur (Zhu et al., 2021). Özellikle okskarbazepin kullanan hastalarda TT genotipi, homosistein yüksekliği bakımından öne çıkmıştır (Zhu et al., 2021).

Fluoropirimidin tedavilerinde folat durumu ile genotip arasındaki etkileşim, kapesitabin temelli adjuvan kemoterapi alan 297 evre II–III kolorektal kanser hastasının izlendiği prospektif kohort araştırmasında incelenmiştir (Zwart et al., 2026). CT veya TT genotipli hastalarda folat konsantrasyonunun her iki katına çıkışı, toksisite nedeniyle tedavi değişikliği gelişmesi açısından daha düşük hazard ile ilişkili bulunmuştur (HR = 0,75; %95 GA: 0,57–0,98); CC genotipinde ise anlamlı ilişki saptanmamıştır (HR = 1,17; %95 GA: 0,84–1,63) (Zwart et al., 2026). Aynı çalışmada hem düşük hem de aşırı folat durumunun kemoterapi toksisitesi açısından uygun olmayabileceği belirtilmiştir (Zwart et al., 2026). Bu sonuç gözlemsel bir folat–genotip ilişkisini yansıtmakta ve folat takviyesinin kemoterapi toksisitesini azalttığını gösteren bir müdahale bulgusu oluşturmamaktadır (Zwart et al., 2026).

2.5. Türkiye Bağlamı

MTHFR varyantlarının sıklığı topluluklara göre değişmektedir; örneğin Çin Kadoorie Biyobankası'nda TT genotipi katılımcıların yaklaşık %21'inde görülmüş, oran 10 çalışma bölgesinde %5 ile %41 arasında değişmiştir (Bennett et al., 2023). Türkiye'de ailevi Akdeniz ateşi hastaları ve sağlıklı kontrollerle yürütülen bir olgu-kontrol çalışmasında, 100 sağlıklı kontrolde C677T genotip sıklığı CC için %66, CT için %31 ve TT için %3 olarak bildirilmiştir (Nursal et al., 2018). Örneklemin küçük ve tek bölgeli olması nedeniyle bu değerler ülke geneli sıklık olarak yorumlanmamalıdır.

Genotip–folat etkileşiminin sonuçları topluluğun folat alımına göre değiştiğinden (Holmes et al., 2011), alım düzeyi de önem taşımaktadır. Food Fortification Initiative'in Türkiye bilgi notunda, 2019 Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması'nda günlük folik asit alımının özellikle çocuk doğurma çağındaki kadınlarda gereksinimin oldukça altında bulunduğu, yılda yaklaşık 3.500 nöral tüp defektli doğum olduğu tahmin edildiği ve zorunlu un zenginleştirmesinin hayata geçirilebilecek bir halk sağlığı fırsatı olduğu belirtilmektedir (Food Fortification Initiative [FFI], 2023). Bu veriler, Türkiye'de genotipten çok toplumun folat alımının belirleyici olabileceğini düşündürmektedir; ancak Türk topluluğunda genotipe göre tabakalanmış müdahale çalışmaları bu çalışmada taranan kaynaklar arasında yer almamıştır.

Tablo 1. Öne çıkan çalışmaların özeti

Çalışma	Tasarım ve örneklem	Müdahale / maruziyet	Ana bulgu
Ashfield-Watt et al., 2002	Randomize çapraz geçişli çalışma; 126 sağlıklı yetişkin (her genotipten 42)	Dört ay; folat açısından zengin diyet (400 µg/gün hedef) veya 400 µg/gün folik asit	Folat alımıyla TT ve CC genotipleri arasındaki homosistein farkı azaldı
Fohr et al., 2002	Randomize, çift kör, plasebo kontrollü; 160 kadın	Sekiz hafta; 400 µg folik asit, 480 µg 5-MTHF veya plasebo	Folik asitle tüm genotiplerde homosistein en az %13 azaldı; 4. haftada en yüksek azalma TT'de (%20)
de Carvalho Lisboa et al., 2020	Randomize; 48 fazla kilolu/obez kadın	Sekiz hafta; günlük 300 g sebze (95 veya 191 µg folat)	191 µg grubunda homosistein ve inflamatuvar göstergelerde azalma yalnızca TT'de

Çalışma	Tasarım ve örneklem	Müdahale / maruziyet	Ana bulgu
Colson et al., 2017	Meta-analiz; 10 müdahale çalışması	En az dört hafta; 400–1670 µg/gün DFE	Genotipler arası homosistein farkı kalmadı; TT'de serum folat artışı daha düşük
Huang et al., 2024 (PFAT-Hcy)	Randomize; 2.163 hipertansif yetişkin (nihai analiz)	Sekiz hafta; 0–2,4 mg/gün folik asit + enalapril	Homosistein azalması ~1,2 mg/gün sonrası plato; TT'de 2,4 mg/gün ile %20,2 azalma
Huo et al., 2015 (CSPPT)	Randomize; 20.702 hipertansif yetişkin	0,8 mg folik asit + enalapril veya yalnızca enalapril	İlk inme oranı %2,7'ye karşı %3,4 (HR = 0,79)
Clarke et al., 2010	Bireysel katılımcı verili meta-analiz; 8 randomize çalışma, 37.485 kişi	Folik asit esaslı B vitamini takviyesi	Homosistein ~%25 azaldı; damar olayları, kanser ve ölüm üzerinde anlamlı etki yok
Bennett et al., 2023	Prospektif kohort (genetik); 156.253 katılımcı	C677T genotipi; düşük folatlı topluluk	İnme riski daha yüksek; iskemik kalp hastalığı ile ilişki yok
Leng et al., 2021	Kesitsel; 3.966 katılımcı	Beslenme örüntüsü × C677T	Et ağırlıklı örüntü ile 677TT arasında etkileşim
Celis-Morales et al., 2017	Randomize (Food4Me); yedi Avrupa ülkesi	Kişiselleştirilmiş beslenme önerisi (diyet ± fenotip ± genotip)	Kişiselleştirme geleneksel öneriden üstün; genotip bilgisi ek yarar sağlamadı
Ye et al., 2022	Geriye dönük; 692 kadın (IVF/ICSI-ET)	Yeterli folik asit desteği; C677T	C677T ile gebelik elde edilmesi arasında ilişki yok
Zwart et al., 2026	Prospektif kohort; 297 kolorektal kanser hastası	Kapesitabin; plazma folat × C677T	CT/TT'de folat artışı tedavi değişikliği hazardıyla ters ilişkili (gözlemsel)

DFE: diyet folat eşdeğeri; 5-MTHF: 5-metiltetrahidrofolat; HR: hazard oranı.

2.6. Sınırlılıklar

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Anlatımsal bir derleme olması nedeniyle sistematik bir kalite değerlendirmesi yapılmamış, kanıtın düzeyi çalışma tasarımı üzerinden ayrıca belirtilmiştir. Bulguların büyük bölümü C677T'ye ilişkindir; A1298C ve bileşik heterozigotluğa ilişkin kanıt sınırlıdır. Bazı çalışmalar küçük örneklemli, tek merkezli veya gözlemseldir. Çalışmalar farklı topluluklarda, farklı folat durumu ve zenginleştirme koşullarında yürütüldüğünden sonuçlar doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Çalışma kapsamı nedeniyle nörolojik ve bilişsel sağlık sonlanımları ele alınmamıştır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

MTHFR polimorfizmleri ile beslenme arasındaki ilişki, genetik farklılıkların besin ögelerinin metabolizmasını ve beslenmeye verilen bireysel yanıtı nasıl etkileyebildiğini gösteren temel örneklerden biridir. C677T ve A1298C varyantlarının folat metabolizması üzerindeki etkilerinin beslenme durumuna göre farklılaşması, genetik yapının besin ögesi alımından bağımsız değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır. Özellikle C677T'nin TT genotipinde folat yetersizliğiyle birlikte homosistein düzeylerinin yükselmesi, genotip ve beslenme etkileşiminin kişiselleştirilmiş beslenme planlamasındaki önemini göstermektedir; buna karşın A1298C'nin tek başına etkisine ilişkin kanıt daha sınırlıdır.

Bu çerçevede kişiselleştirilmiş beslenme, yalnızca genetik test sonucuna göre diyet veya takviye belirlenmesinden daha kapsamlı bir değerlendirmeyi gerektirmektedir. MTHFR genotipinin besin tüketimi, folat ve B12 durumu, homosistein düzeyleri, mevcut hastalıklar ve ilaç kullanımıyla birlikte ele alınması, beslenme planının bireysel gereksinimlere göre

düzenlenmesine katkı sağlayabilir. Folat açısından zengin besinlerin yeterli tüketimi ve gerektiğinde eksikliklerin giderilmesi bu yaklaşımın temelini oluştururken, yaygın bir MTHFR varyantının bulunması tek başına yüksek doz takviye kullanımını veya belirli bir folat formunun tercih edilmesini gerektirmemektedir; bu değerlendirme, folat alımının genotipten daha güçlü bir belirleyici olduğunu bildiren CDC (2026) verileri, genotipler arası homosistein farkının folat alımıyla azaldığını gösteren müdahale çalışmaları (Ashfield-Watt et al., 2002; Colson et al., 2017) ve genetik bilginin danışmanlığa ek yarar sağlamadığını bildiren Food4Me araştırmasıyla (Celis-Morales et al., 2017) uyumludur.

Çalışmada değerlendirilen bulgular, beslenme müdahaleleriyle folat ve homosistein göstergelerinin iyileştirilebildiğini; ancak bu değişikliklerin hastalıkların önlenmesi veya tedavisindeki karşılığının her durumda aynı olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla MTHFR–beslenme ilişkisi, kişiselleştirilmiş beslenmenin biyolojik temelini açıklayan önemli bir örnek olmakla birlikte, klinik uygulamaların genetik bilgi, biyokimyasal bulgular ve bireyin sağlık durumu birlikte değerlendirilerek planlanması gerekmektedir. Genotipe göre düzenlenen beslenme müdahalelerini uzun dönem klinik sonuçlarla ve A1298C ile bileşik heterozigotluğu da kapsayacak biçimde inceleyen araştırmalar, bu yaklaşımın uygulamadaki yerinin daha açık biçimde belirlenmesini sağlayacaktır.

4. KAYNAKÇA

Araszkiewicz, A. F., Jańczak, K., Wójcik, P., Białecki, B., Kubiak, S., Szczechowski, M., & Januszkiewicz Lewandowska, D. (2025). MTHFR gene polymorphisms: A single gene with wide-ranging clinical implications—A review. *Genes, 16*(4), Article 441. https://doi.org/10.3390/genes16040441

Ashfield-Watt, P. A. L., Pullin, C. H., Whiting, J. M., Clark, Z. E., Moat, S. J., Newcombe, R. G., Burr, M. L., Lewis, M. J., Powers, H. J., & McDowell, I. F. W. (2002). Methylenetetrahydrofolate reductase 677C→T genotype modulates homocysteine responses to a folate-rich diet or a low-dose folic acid supplement: A randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition, 76*(1), 180–186. https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.180

Bennett, D. A., Parish, S., Millwood, I. Y., Guo, Y., Chen, Y., Turnbull, I., Yang, L., Lv, J., Yu, C., Davey Smith, G., Wang, Y., Wang, Y., Peto, R., Collins, R., Walters, R. G., Li, L., Chen, Z., Clarke, R., & China Kadoorie Biobank (CKB) Study Collaborative Group. (2023). MTHFR and risk of stroke and heart disease in a low-folate population: A prospective study of 156 000 Chinese adults. *International Journal of Epidemiology, 52*(6), 1862–1869. https://doi.org/10.1093/ije/dyad147

Bulloch, R. E., Wall, C. R., McCowan, L. M. E., Taylor, R. S., Roberts, C. T., & Thompson, J. M. D. (2020). The effect of interactions between folic acid supplementation and one carbon metabolism gene variants on small-for-gestational-age births in the Screening for Pregnancy Endpoints (SCOPE) cohort study. *Nutrients, 12*(6), Article 1677. https://doi.org/10.3390/nu12061677

Campbell, J. M., Bateman, E., Stephenson, M. D., Bowen, J. M., Keefe, D. M., & Peters, M. D. J. (2016). Methotrexate-induced toxicity pharmacogenetics: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology, 78*(1), 27–39. https://doi.org/10.1007/s00280-016-3043-5

Celis-Morales, C., Livingstone, K. M., Marsaux, C. F. M., Macready, A. L., Fallaize, R., O'Donovan, C. B., Woolhead, C., Forster, H., Walsh, M. C., Navas-Carretero, S., San-Cristobal, R., Tsirigoti, L., Lambrinou, C. P., Mavrogianni, C., Moschonis, G., Kolossa, S., Hallmann, J., Godlewska, M., Surwiłło, A., . . . Mathers, J. C. (2017). Effect of personalized nutrition on health-related behaviour change: Evidence from the Food4Me European randomized controlled trial. *International Journal of Epidemiology, 46*(2), 578–588. https://doi.org/10.1093/ije/dyw186

Centers for Disease Control and Prevention. (2026, July 16). *MTHFR gene variant and folic acid facts*. https://www.cdc.gov/folic-acid/data-research/mthfr/index.html

Clarke, R., Halsey, J., Lewington, S., Lonn, E., Armitage, J., Manson, J. E., Bønaa, K. H., Spence, J. D., Nygård, O., Jamison, R., Gaziano, J. M., Guarino, P., Bennett, D., Mir, F., Peto, R., Collins, R., & B-Vitamin Treatment Trialists' Collaboration. (2010). Effects of lowering homocysteine levels with B vitamins on cardiovascular disease, cancer, and cause-specific mortality: Meta-analysis of 8 randomized trials involving 37 485 individuals. *Archives of Internal Medicine, 170*(18), 1622–1631. https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.348

Colson, N. J., Naug, H. L., Nikbakht, E., Zhang, P., & McCormack, J. (2017). The impact of MTHFR 677 C/T genotypes on folate status markers: A meta-analysis of folic acid intervention studies. *European Journal of*

Nutrition, *56*(1), 247–260. https://doi.org/10.1007/s00394-015-1076-x

Cronstein, B. N., & Aune, T. M. (2020). Methotrexate and its mechanisms of action in inflammatory arthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, *16*(3), 145–154. https://doi.org/10.1038/s41584-020-0373-9

de Carvalho Lisboa, J. V., Ribeiro, M. R., Luna, R. C. P., Lima, R. P. A., do Nascimento, R. A. F., Monteiro, M. G. C. A., Lima, K. Q. F., Fechine, C. P. N. D. S., de Oliveira, N. F. P., Persuhn, D. C., Veras, R. C., Gonçalves, M. D. C. R., Ferreira, F. E. L. D. L., Lima, R. T., da Silva, A. S., Diniz, A. D. S., de Almeida, A. T. C., de Moraes, R. M., Verly Junior, E., & Costa, M. J. D. C. (2020). Food intervention with folate reduces TNF-α and interleukin levels in overweight and obese women with the MTHFR C677T polymorphism: A randomized trial. *Nutrients*, *12*(2), Article 361. https://doi.org/10.3390/nu12020361

De Mattia, E., & Toffoli, G. (2009). C677T and A1298C MTHFR polymorphisms, a challenge for antifolate and fluoropyrimidine-based therapy personalisation. *European Journal of Cancer*, *45*(8), 1333–1351. https://doi.org/10.1016/j.ejca.2008.12.004

Faganel Kotnik, B., Grabnar, I., Bohanec Grabar, P., Dolžan, V., & Jazbec, J. (2011). Association of genetic polymorphism in the folate metabolic pathway with methotrexate pharmacokinetics and toxicity in childhood acute lymphoblastic leukaemia and malignant lymphoma. *European Journal of Clinical Pharmacology*, *67*(10), 993–1006. https://doi.org/10.1007/s00228-011-1046-z

Farhud, D. D., Zarif Yeganeh, M., & Zarif Yeganeh, M. (2010). Nutrigenomics and nutrigenetics. *Iranian Journal of Public Health*, *39*(4), 1–14. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3481686/

Fezeu, L. K., Ducros, V., Guéant, J.-L., Guilland, J.-C., Andreeva, V. A., Hercberg, S., & Galan, P. (2018). MTHFR 677C → T genotype modulates the effect of a 5-year supplementation with B-vitamins on homocysteine concentration: The SU.FOL.OM3 randomized controlled trial. *PLOS ONE*, *13*(5), Article e0193352. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193352

Fohr, I. P., Prinz-Langenohl, R., Brönstrup, A., Bohlmann, A. M., Nau, H., Berthold, H. K., & Pietrzik, K. (2002). 5,10-Methylenetetrahydrofolate reductase genotype determines the plasma homocysteine-lowering effect of supplementation with 5-methyltetrahydrofolate or folic acid in healthy young women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *75*(2), 275–282. https://doi.org/10.1093/ajcn/75.2.275

Food Fortification Initiative. (2023). *Türkiye fact sheet* [Bilgi notu]. https://www.ffinetwork.org/s/Web-Turkey-Fact-Sheet_July-2023_EN.pdf

Friso, S., Choi, S.-W., Girelli, D., Mason, J. B., Dolnikowski, G. G., Bagley, P. J., Olivieri, O., Jacques, P. F., Rosenberg, I. H., Corrocher, R., & Selhub, J. (2002). A common mutation in the 5,10-methylenetetrahydrofolate reductase gene affects genomic DNA methylation through an interaction with folate status. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(8), 5606–5611. https://doi.org/10.1073/pnas.062066299

Frosst, P., Blom, H. J., Milos, R., Goyette, P., Sheppard, C. A., Matthews, R. G., Boers, G. J. H., den Heijer, M., Kluijtmans, L. A. J., van den Heuvel, L. P., & Rozen, R. (1995). A candidate genetic risk factor for vascular disease: A common mutation in methylenetetrahydrofolate reductase. *Nature Genetics*, *10*(1), 111–113. https://doi.org/10.1038/ng0595-111

Hickey, S. E., Curry, C. J., & Toriello, H. V. (2013). ACMG practice guideline: Lack of evidence for MTHFR polymorphism testing. *Genetics in Medicine*, *15*(2), 153–156. https://doi.org/10.1038/gim.2012.165

Hiraoka, M., & Kagawa, Y. (2017). Genetic polymorphisms and folate status. *Congenital Anomalies*, *57*(5), 142–149. https://doi.org/10.1111/cga.12232

Holmes, M. V., Newcombe, P., Hubacek, J. A., Sofat, R., Ricketts, S. L., Cooper, J., Breteler, M. M. B., Bautista, L. E., Sharma, P., Whittaker, J. C., Smeeth, L., Fowkes, F. G. R., Algra, A., Shmeleva, V., Szolnoki, Z., Roest, M., Linnebank, M., Zacho, J., Nalls, M. A., . . . Casas, J. P. (2011). Effect modification by population dietary folate on the association between MTHFR genotype, homocysteine, and stroke risk: A meta-analysis of genetic studies and randomised trials. *The Lancet*, *378*(9791), 584–594. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60872-6

Huang, X., Bao, H., Ding, C., Li, J., Cao, T., Liu, L., Wei, Y., Zhou, Z., Zhang, N., Song, Y., Chen, P., Jiang, C., Xie, L., Qin, X., Zhang, Y., Li, J., Sun, N., Tang, G., Wang, X., . . . Cheng, X. (2024). Optimal folic acid dosage in lowering homocysteine: Precision Folic Acid Trial to lower homocysteine (PFAT-Hcy). *European Journal of Nutrition*, *63*(5), 1513–1528. https://doi.org/10.1007/s00394-024-03344-8

Huo, Y., Li, J., Qin, X., Huang, Y., Wang, X., Gottesman, R. F., Tang, G., Wang, B., Chen, D., He, M., Fu, J., Cai, Y., Shi, X., Zhang, Y., Cui, Y., Sun, N., Li, X., Cheng, X., Wang, J., . . . Hou, F. F. (2015). Efficacy of folic acid therapy in primary prevention of stroke among adults with hypertension in China: The CSPPT randomized clinical trial. *JAMA*, *313*(13), 1325–1335. https://doi.org/10.1001/jama.2015.2274

Kennedy, D. A., Stern, S. J., Matok, I., Moretti, M. E., Sarkar, M., Adams-Webber, T., & Koren, G. (2012). Folate intake, MTHFR polymorphisms, and the risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cancer Epidemiology*, *2012*, Article 952508. https://doi.org/10.1155/2012/952508

Klerk, M., Verhoef, P., Clarke, R., Blom, H. J., Kok, F. J., & Schouten, E. G. (2002). MTHFR 677C→T polymorphism and risk of coronary heart disease: A meta-analysis. *JAMA, 288*(16), 2023–2031. https://doi.org/10.1001/jama.288.16.2023

Leng, S., Zhao, A., Zhang, J., Wu, W., Wang, Q., Wu, S., Chen, L., & Zeng, Q. (2021). Methylenetetrahydrofolate reductase gene C677T polymorphism–dietary pattern interaction on hyperhomocysteinemia in a Chinese population: A cross-sectional study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine, 8*, Article 638322. https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.638322

Lievers, K. J. A., Boers, G. H. J., Verhoef, P., den Heijer, M., Kluijtmans, L. A. J., van der Put, N. M. J., Trijbels, F. J. M., & Blom, H. J. (2001). A second common variant in the methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) gene and its relationship to MTHFR enzyme activity, homocysteine, and cardiovascular disease risk. *Journal of Molecular Medicine, 79*(9), 522–528. https://doi.org/10.1007/s001090100253

Liew, S.-C., & Gupta, E. D. (2015). Methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) C677T polymorphism: Epidemiology, metabolism and the associated diseases. *European Journal of Medical Genetics, 58*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ejmg.2014.10.004

Liu, Y., Pu, G., Yang, C., Wang, Y., Jin, K., Wang, S., Liang, X., Hu, S., Sun, S., & Lai, M. (2024). Association analysis of MTHFR (rs1801133 and rs1801131) gene polymorphism towards the development of type 2 diabetes mellitus in Dali area population from Yunnan Province, China. *PeerJ, 12*, Article e18334. https://doi.org/10.7717/peerj.18334

Luo, Z., Lu, Z., Muhammad, I., Chen, Y., Chen, Q., Zhang, J., & Song, Y. (2018). Associations of the MTHFR rs1801133 polymorphism with coronary artery disease and lipid levels: A systematic review and updated meta-analysis. *Lipids in Health and Disease, 17*, Article 191. https://doi.org/10.1186/s12944-018-0837-y

McKillop, D. J., Pentieva, K., Daly, D., McPartlin, J. M., Hughes, J., Strain, J. J., Scott, J. M., & McNulty, H. (2002). The effect of different cooking methods on folate retention in various foods that are amongst the major contributors to folate intake in the UK diet. *British Journal of Nutrition, 88*(6), 681–688. https://doi.org/10.1079/BJN2002733

Mead, M. N. (2007). Nutrigenomics: The genome–food interface. *Environmental Health Perspectives, 115*(12), A582–A589. https://doi.org/10.1289/ehp.115-a582

MRC Vitamin Study Research Group. (1991). Prevention of neural tube defects: Results of the Medical Research Council Vitamin Study. *The Lancet, 338*(8760), 131–137. https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)90133-A

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. (t.y.). *Folate: Fact sheet for health professionals*. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Folate-HealthProfessional/

Nursal, A. F., Kaya, S., Sezer, Ö., Karakuş, N., & Yiğit, S. (2018). MTHFR gene C677T and A1298C variants are associated with FMF risk in a Turkish cohort. *Journal of Clinical Laboratory Analysis, 32*(2), Article e22259. https://doi.org/10.1002/jcla.22259

Ordovas, J. M., Ferguson, L. R., Tai, E. S., & Mathers, J. C. (2018). Personalised nutrition and health. *BMJ, 361*, Article k2173. https://doi.org/10.1136/bmj.k2173

Qin, X., Li, J., Cui, Y., Liu, Z., Zhao, Z., Ge, J., Guan, D., Hu, J., Wang, Y., Zhang, F., Xu, X., Wang, X., Xu, X., & Huo, Y. (2012). MTHFR C677T and MTR A2756G polymorphisms and the homocysteine lowering efficacy of different doses of folic acid in hypertensive Chinese adults. *Nutrition Journal, 11*, Article 2. https://doi.org/10.1186/1475-2891-11-2

Regan, L., Rai, R., Saravelos, S., & Li, T.-C. (2023). Recurrent miscarriage: Green-top guideline No. 17. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 130*(12), e9–e39. https://doi.org/10.1111/1471-0528.17515

Şensoy, N., Soysal, Y., Kahraman, A., Doğan, N., & İmirzalioğlu, N. (2012). Modulator effects of the methylenetetrahydrofolate reductase C677T polymorphism on response to vitamin B12 therapy and homocysteine metabolism. *DNA and Cell Biology, 31*(5), 820–825. https://doi.org/10.1089/dna.2011.1422

Shao, W., Yuan, Y., & Li, Y. (2017). Association between MTHFR C677T polymorphism and methotrexate treatment outcome in rheumatoid arthritis patients: A systematic review and meta-analysis. *Genetic Testing and Molecular Biomarkers, 21*(5), 275–285. https://doi.org/10.1089/gtmb.2016.0326

Shen, Y., Wang, Z., Zhou, F., & Jin, R. (2021). The influence of MTHFR genetic polymorphisms on methotrexate therapy in pediatric acute lymphoblastic leukemia. *Open Life Sciences, 16*(1), 1203–1212. https://doi.org/10.1515/biol-2021-0121

Siddiqi, S. M., Liu, L., Du, Y., Song, Y., Chen, P., Li, S., He, Q., Zhou, Z., Xu, J., Bai, J., Wang, B., Qin, X., Mehmood, A., Xiuqing, L., Cheng, X., & Shi, H.-P. (2025). Association of MTHFR C677T, MTHFRA1298C, and MTRRA66G gene polymorphisms with hyperhomocysteinemia and its modulation by the combined effect of vitamin B12 and folate in Chinese population with hypertension. *The Journal of Nutrition, 155*(4), 1202–1209.

https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2024.09.003
Slattery, M. L., Potter, J. D., Samowitz, W., Schaffer, D., & Leppert, M. (1999). Methylenetetrahydrofolate reductase, diet, and risk of colon cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, *8*(6), 513–518. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10385141/
US Preventive Services Task Force. (2023). Folic acid supplementation to prevent neural tube defects: US Preventive Services Task Force reaffirmation recommendation statement. *JAMA*, *330*(5), 454–459. https://doi.org/10.1001/jama.2023.12876
Vidmar, M., Grželj, J., Mlinarič-Raščan, I., Geršak, K., & Sollner Dolenc, M. (2019). Medicines associated with folate–homocysteine–methionine pathway disruption. *Archives of Toxicology*, *93*(2), 227–251. https://doi.org/10.1007/s00204-018-2364-z
Weisberg, I., Tran, P., Christensen, B., Sibani, S., & Rozen, R. (1998). A second genetic polymorphism in methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) associated with decreased enzyme activity. *Molecular Genetics and Metabolism*, *64*(3), 169–172. https://doi.org/10.1006/mgme.1998.2714
Wen, Y., He, H., & Zhao, K. (2023). Thrombophilic gene polymorphisms and recurrent pregnancy loss: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, *40*(7), 1533–1558. https://doi.org/10.1007/s10815-023-02823-x
Ye, F., Zhang, S., Qi, Q., Zhou, J., Du, Y., & Wang, L. (2022). Association of MTHFR 677C>T polymorphism with pregnancy outcomes in IVF/ICSI-ET recipients with adequate synthetic folic acid supplementation. *BioScience Trends*, *16*(4), 282–290. https://doi.org/10.5582/bst.2021.01306
Zarembska, E., Ślusarczyk, K., & Wrzosek, M. (2024). The implication of a polymorphism in the methylenetetrahydrofolate reductase gene in homocysteine metabolism and related civilisation diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(1), Article 193. https://doi.org/10.3390/ijms25010193
Zhu, S., Ni, G., Sui, L., Zhao, Y., Zhang, X., Dai, Q., Chen, A., Lin, W., Li, Y., Huang, M., & Zhou, L. (2021). Genetic polymorphisms in enzymes involved in one-carbon metabolism and anti-epileptic drug monotherapy on homocysteine metabolism in patients with epilepsy. *Frontiers in Neurology*, *12*, Article 683275. https://doi.org/10.3389/fneur.2021.683275
Zwart, N. R. K., van Duijnhoven, F. J. B., Wesselink, E., Lubberman, F. J. E., Ulrich, C. M., McKay, J. A., van Halteren, H. K., McCann, A., Ueland, P. M., Kampman, E., & Kok, D. E. (2026). One-carbon metabolism and chemotherapy-induced toxicities in patients with stage II–III colorectal cancer: A prospective cohort study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *124*(3), Article 101457. https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2026.101457

SAĞLIK KURUMLARINDA SİBER SALDIRILAR VE HİZMET SÜREKLİLİĞİ: BİR KRİZ YÖNETİMİ PERSPEKTİFİ

Assoc. Prof. Dr. Fatih BUDAK
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences, Department of Healthcare Management, 70100, Karaman
ORCID ID: 0000-0002-6873-6204
Beyza BİLGİÇ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences, Department of Healthcare Management, 70100, Karaman
ORCID ID: 0009-0004-7050-8907

ÖZET
Dijitalleşmenin sağlık hizmetleri üzerindeki dönüştürücü etkisi, beraberinde ciddi siber güvenlik riskleri de getirmektedir. Fidye yazılımı, hizmet reddi saldırıları ve veri ihlalleri gibi tehditler; hasta güvenliğini, hizmet sürekliliğini ve kurumsal itibarı tehdit etmekte, bazı durumlarda ise kritik klinik süreçlerin aksamasına sebep olmaktadır. Bu çalışma; sağlık kurumlarında yaşanan siber saldırıları, kriz yönetimi perspektifinden kavramsal olarak çerçevelemeyi, uluslararası vaka örneklerini incelemeyi ve politika önerileri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, 2012–2026 yılları arasında yayımlanmış uluslararası literatürü, belgelenmiş siber güvenlik olaylarını ve Türkiye'ye ilişkin yasal düzenlemeleri kapsayan amaca yönelik bir kavramsal derleme olarak tasarlanmıştır. Özgün saha verisi içermemektedir. Bu doğrultuda toplam yirmi belge incelenmiş olup bu belgeler, klinik hizmet sürekliliği ve yönetsel sorumluluklar açısından değerlendirilmiştir. Uluslararası vakalar, siber saldırıların klinik bir krize dönüşebileceğini ve müdahalenin sağlık kurumlarının yönetimini doğrudan ilgilendirdiğini göstermektedir. Hizmet sürekliliği planlaması, kâğıt tabanlı yedek klinik protokoller, test edilmiş çevrimdışı veri yedekleri ve düzenli siber kriz tatbikatları; kurumsal dayanıklılığın temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Çalışma; 2024–2028 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ile uyumlu ve sağlık sektörüne özgü uygulama planlarının geliştirilmesini, 7545 sayılı Kanun kapsamındaki yükümlülüklerin sağlık kurumlarına özelleştirilmesini ve siber kriz yönetimi yetkinliğinin, sağlık yönetimi eğitimine entegre edilmesini önermektedir. Önerilen beş aşamalı kavramsal çerçeve, henüz ampirik olarak sınanmamış olup farklı kuruluş türlerinde pilot uygulamalarla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.
Anahtar kelimeler: Siber saldırı, sağlık kurumları, hizmet sürekliliği, kriz yönetimi, fidye yazılımı, hasta güvenliği

CYBER ATTACKS IN HEALTHCARE INSTITUTIONS AND SERVICE CONTINUITY: A CRISIS MANAGEMENT PERSPECTIVE

ABSTRACT
The transformative impact of digitalisation on healthcare services has simultaneously introduced serious cybersecurity risks. Threats such as ransomware, denial-of-service attacks and data breaches endanger patient safety, service continuity and institutional reputation, and can directly disrupt critical clinical processes. This study aims to conceptually frame cyber attacks in healthcare institutions from a crisis management perspective, examine international case examples and develop policy recommendations. The study is designed as a purposive conceptual review encompassing international literature published between 2012 and 2026,

documented cybersecurity incidents and relevant Turkish legislation; it does not contain original field data. Twenty documents were reviewed; the documents were assessed in terms of clinical service continuity and managerial responsibilities. International cases demonstrate that cyber attacks can escalate into clinical crises and that the response directly concerns healthcare management. Business Continuity Planning (BCP), paper-based backup clinical protocols, tested offline data backups and regular cyber crisis exercises emerge as core components of institutional resilience. The study recommends developing health-sector-specific implementation plans aligned with the 2024–2028 National Cybersecurity Strategy, tailoring the obligations under Law No. 7545 for healthcare institutions and integrating cyber crisis management competencies into health management education. The proposed five-phase conceptual framework has not yet been empirically tested and requires evaluation through pilot applications across different types of healthcare organisations.
Keywords: Cyber attack, healthcare institutions, service continuity, crisis management, ransomware, patient safety

1. GİRİŞ

Sağlık kurumlarında dijitalleşme, hasta kayıtlarından tanı ve tedaviye kadar hizmet sunumunun birçok aşamasını bilgi sistemlerine bağlamaktadır. Elektronik sağlık kayıtları (ESK), görüntü arşivleme ve iletişim sistemleri (PACS), tele-tıp platformları ve ağa bağlı tıbbi cihazlar bu yapının temel bileşenleridir. Bu sistemlerde yaşanan kesintiler, sağlık yöneticilerini hasta bakımının hangi koşullarda sürdürüleceğine ilişkin kararlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Kişisel sağlık verilerinin ticari değeri ve sağlık hizmetlerinin kesintiye karşı yüksek duyarlılığı, sektörü siber saldırganlar açısından öncelikli hedeflerden biri hâline getirmektedir (Kruse vd., 2017; ENISA, 2023).

Uluslararası vakalar, siber olayların yalnızca teknik bir sorun olmadığını, doğrudan klinik bir kriz unsuru oluşturduğunu somut biçimde ortaya koymaktadır. 2017 yılında İngiltere Ulusal Sağlık Hizmetleri'ni (NHS) etkileyen WannaCry saldırısında, toplam iptal sayısının 19.000'i aştığı tahmin edilmekte ve kapsamlı kesinti maliyetinin yaklaşık 92 milyon sterline ulaştığı belgelenmiştir (NAO, 2017; Department of Health and Social Care, 2018). Ghafur vd. (2019), enfekte kuruluşlardaki azalan hastane faaliyetinin ekonomik değerini 5,9 milyon sterlin olarak hesaplamıştır; bu rakam daha kapsamlı maliyet tahminlerinden farklı kapsama sahiptir ve birbirinin yerine kullanılamaz. 2021'de İrlanda Sağlık Hizmet Kurumu'nu (HSE) hedef alan Conti fidye yazılımı saldırısının hizmet sunumunda ciddi aksamalara yol açtığı ve kurumsal hazırlık ile koordinasyon bakımından önemli eksiklikleri ortaya çıkardığı bağımsız inceleme raporunda belgelenmiştir (Health Service Executive, 2021).

Bu çalışma, sağlık kurumlarındaki siber saldırıları hizmet sürekliliği ve yönetsel sorumluluklar açısından değerlendirmektedir. Üç araştırma sorusuna yanıt aranmaktadır: (1) Sağlık kurumlarını hedef alan başlıca siber tehdit türleri ve bunların klinik etkileri nelerdir? (2) Uluslararası deneyimler, siber kriz yönetiminde hangi uygulamaları desteklemektedir? (3) Türkiye'deki sağlık kurumlarının siber dayanıklılığını geliştirmek için hangi politika araçları kullanılabilir?

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sağlık Sektöründe Siber Tehdit Ortamı

Sağlık kurumlarının siber saldırılara açıklığı, kullandıkları teknolojiler kadar hizmet sunumunun özellikleriyle de ilişkilidir. Kruse vd. (2017), sağlık kayıtlarının karanlık web pazarlarında kredi kartı bilgilerine kıyasla daha yüksek fiyatlarla alıcı bulabildiğini

aktarmaktadır. Kesintisiz hizmet verme yükümlülüğü, fidye talepleri karşısında kurumlar üzerindeki baskıyı artırırken eski yazılımlarla çalışan tıbbi cihazlar güvenlik açıklarını sürdürmektedir (Jalali ve Kaiser, 2018). Sağlık yöneticisi açısından bu durum, teknik risk değerlendirmesinin klinik hizmetlerin öncelikleriyle birlikte yapılmasını gerektirir. Tablo 1, başlıca tehditleri hedefleri ve olası sonuçlarıyla birlikte sunmaktadır. Cihazlara ilişkin deneysel güvenlik açıkları, gerçekleşmiş klinik zararlarla eş tutulmamaktadır.

Tablo 1. Sağlık Kurumlarında Başlıca Siber Tehdit Türleri: Yöntem, Hedef ve Olası Sonuçlar

Tehdit / Olay Türü	Temel Mekanizma	Birincil Hedef / Araç	Olası Sonuç
Fidye Yazılımı	Sistemleri şifreleyerek erişimi engeller; kilit açma karşılığında ödeme talep eder	HBYS, ESK, laboratuvar ve görüntüleme sistemleri	Hasta kayıtlarına erişim kesilir; ameliyat, görüntüleme ve elektronik reçete süreçleri durur
Hizmet Reddi (DDoS)	Sunucuları aşırı trafikle doldurarak hizmet dışı bırakır	Web portalleri, tele-tıp ve acil iletişim altyapısı	Randevu ve kayıt sistemlerine erişim kesilir
Kimlik Avı / Sosyal Mühendislik	Sahte e-posta veya arayüz yoluyla kimlik bilgisi elde etme	Personel e-posta hesapları, VPN erişimi	Yetkili hesap ele geçirilir; iç ağa sızma için başlangıç noktası oluşturulur
Veri İhlali	Hasta verilerine yetkisiz erişim veya sızdırma	ESK, laboratuvar veritabanları, fatura sistemleri	Kişisel sağlık verilerinin açığa çıkması; yasal yaptırımlar; hasta güveninin sarsılması
Ağa Bağlı Cihaz Güvenlik Açığı	Yazılım açıklarından yararlanarak cihazın ağ bağlantısına erişim	İnfüzyon pompaları, görüntüleme cihazları	Cihaz işlevsizleşebilir. Not: Gerçekleşmiş klinik zarar örnekleri sınırlı; potansiyel risk deneysel ortamlarda belgelenmiştir

Kaynak: ENISA (2023) ve Jalali ve Kaiser (2018) esas alınarak yazarlar tarafından geliştirilmiştir.

2.2. Hizmet Sürekliliği ve Kriz Yönetimi: Kavramsal Çerçeve

Hizmet sürekliliği yönetimi, kesinti sırasında kritik hizmetlerin kabul edilebilir düzeyde sürdürülmesini sağlayacak kurumsal kapasitenin geliştirilmesini kapsar (ISO, 2019). Sağlık kurumlarında bu yaklaşımın karşılığı, bilgi sistemleri kullanılamadığında da hasta bakımını güvenli biçimde yürütebilmektir. Bu nedenle süreklilik planları, teknik kurtarma adımlarıyla birlikte klinik hizmetlerin önceliklerini ve alternatif işleyiş biçimlerini de tanımlamalıdır.

Siber olaylarda saldırının ne zaman başladığı, hangi sistemlere yayıldığı ve hasta bakımını hangi ölçüde etkilediği ilk anda anlaşılamayabilir. Boin vd. (2016)'nin genel kriz yönetimi yaklaşımından hareketle, bu çalışmada üç boyut üzerinde durulmaktadır: Başlangıcın geç fark edilmesi, teknik belirsizlik ve sistemler arasında yayılma. Bu uyarlama, yalnızca siber olaylara özgü bir sınıflandırma olarak sunulmamaktadır. Yönetsel açıdan belirleyici olan, belirsizlik sürerken klinik liderlerin, bilgi teknolojileri (BT) güvenlik ekibinin, hukuk biriminin ve iletişim sorumlularının ortak karar verebilmesidir.

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma Tasarımı

Çalışma, amaçlı literatür taraması ve belgelenmiş örnek olay incelemelerine dayanan kavramsal bir derlemedir. Örnek olaylar, bağımsız inceleme raporları veya hakemli yayınlarla belgelenmeleri ve siber kriz yönetiminin farklı boyutlarını göstermeleri esas alınarak seçilmiştir. Kavramsal çerçevenin geliştirilmesinde ISO 22301 (ISO, 2019) ve NIST rehberleri

kullanılmış; bu belgelerdeki ilkeler Boin vd. (2016)'nin kriz yönetimi yaklaşımıyla ilişkilendirilerek sağlık hizmetlerine uyarlanmıştır. Belgeler, klinik hizmet sürekliliğine ve teknik müdahaleye sağladıkları katkı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sistematik derleme niteliğinde değildir ve özgün saha verisi içermemektedir.

3.2. Literatür Tarama Süreci

Uluslararası kaynaklar; PubMed, PubMed Central, Web of Science ve Google Akademik veri tabanlarından taranmıştır. Temel İngilizce arama ifadesi şudur: ("cyber attack" OR "ransomware" OR "data breach") AND ("hospital" OR "healthcare" OR "health system") AND ("crisis management" OR "business continuity" OR "patient safety"). Türkiye bağlamı için "siber güvenlik", "sağlık bilgi sistemi güvenliği" ve "hizmet sürekliliği" terimleriyle ek Türkçe tarama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ENISA, NIST, Health-ISAC ve ilgili ulusal kurum web siteleri taranmış; bulunan çalışmaların kaynakçaları da incelenmiştir. İlgili yasal mevzuat ve strateji belgeleri resmî kaynaklardan elde edilmiştir. Son tarama tarihi 1 Ekim 2026'dır.

3.3. Belge Seçme Ölçütleri ve İncelenen Belgeler

Dâhil edilme ölçütleri: (i) hakemli dergide yayımlanmış olmak, kriz yönetimi ve kriz iletişimine ilişkin kuramsal akademik kitap olmak ya da ilgili alanda yetkili veya uzman kuruluş (ulusal denetim ofisi, bağımsız soruşturma komisyonu, uluslararası standart kuruluşu, hükümet ajansı, kanun koyucu) tarafından yayımlanmış resmî belge olmak; (ii) İngilizce veya Türkçe yazılmış olmak; (iii) sağlık sektörü siber güvenliği, hizmet sürekliliği ya da kriz yönetimiyle doğrudan ilgili olmak. Yayın kapsamı 1 Ocak 2012 ile 30 Eylül 2026 arasıdır; son tarama tarihi 1 Ekim 2026'dır. Yinelenen kayıtlar en güncel veya en kapsamlı sürüm korunarak kaldırılmıştır. Bu ölçütlerle toplam 20 belge incelenmiştir. Her belgenin çalışmaya sağladığı bilgi ve yorum sınırları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 2. İncelenen Belgeler, Türleri ve Çalışmaya Katkıları (n = 20)

No	Kaynak	Tür	Sağladığı Bilgi ve Yorum Sınırı
1	Kruse vd. (2017)	Sistematik derleme	Siber tehdit türleri ve hasta veri değeri. Sınır: Derleme kapsamı ve kalite değerlendirmesi yönteme göre farklılaşıyor.
2	Jalali ve Kaiser (2018)	Uzman görüşmesi ve sistem dinamiği modellemesi	Siber güvenlik kapasitesi için kaynak, örgütsel koordinasyon ve paydaş uyumunun önemi. Sınır: İstatistiksel nedensellik kurulmamış; 19 uzmanla görüşme temelli.
3	NAO (2017)	Resmî soruşturma raporu	WannaCry–NHS: Hizmet kesintisi boyutu; alternatif klinik protokol bulunduran kurumların hizmetleri sürdürebildiği aktarılmaktadır. Sınır: Kurumsal denetim raporu; protokol varlığı ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki kontrollü biçimde ölçülmemiştir.
4	Ghafur vd. (2019)	Geriye dönük gözlemsel etki analizi	WannaCry–NHS: 13.500 iptal randevu ve 5,9 milyon sterlinlik faaliyet kaybı tahmini. Sınır: Nedensel etki ve başka kurumlara genellenebilirlik bakımından sınırlı; hazırlık yatırımı–toparlanma süresi ilişkisini doğrudan ölçmüyor.
5	Department of Health and Social Care (2018). Securing cyber resilience in	Resmî hükümet güncellemesi	WannaCry–NHS: Yaklaşık 92 milyon sterlinlik kapsamlı maliyet tahmini; WannaCry sonrası siber dayanıklılık gereklilikleri. Sınır: Maliyet

	health and care: October 2018 progress update		hesaplama yöntemi ve kalemleri kısmen açıklanmış.
6	Health Service Executive (2021)	Bağımsız olay sonrası inceleme raporu	HSE–Conti: Hizmet sunumundaki aksamalar, kurumsal hazırlık ve koordinasyon eksiklikleri.
7	Dameff vd. (2023)	Kesitsel gözlemsel çalışma	Yayılma etkisi: Saldırıya uğramayan komşu acil servis birimlerinde başvuru yükü artışı. Sınır: Tek olaydan elde edilen gözlemsel veri; nedensellik sınırlı.
8	ENISA (2023)	Sektörel tehdit ortamı raporu	Saldırı türleri ve sıklıkları. Sınır: Olay analizi, açık kaynak istihbaratı ve tehdit istihbaratına dayalıdır; eksik bildirim olasılığı gözetilmelidir.
9	Health-ISAC (2024). Current and Emerging Healthcare Cyber Threat Landscape: Executive Summary for CISOs	Yönetici özeti	Tehdit istihbaratı paylaşımı ve sektörel uygulamalar. Sınır: Sektörel perspektif; bağımsız doğrulama sınırlı.
10	Boin vd. (2016)	Kuramsal akademik kitap	Kriz yönetimi aşamaları ve çerçevesi. Sınır: Genel kriz kuramı; siber kriz uyarlaması yazara aittir.
11	Coombs (2019)	Kuramsal akademik kitap	Kriz iletişimi kuramsal çerçevesi. Sınır: Sağlık sektörüne özgü ampirik doğrulama sınırlı.
12	ISO (2019)	Uluslararası standart	BCM tanımı ve sistem gereklilikleri. Normatif belge; uygulama koşullarını kuruluş belirler.
13	NIST SP 800-61 Rev. 2 (NIST, 2012)	Hükümet rehber belgesi	Olay müdahale aşamaları (tarihsel karşılaştırma temeli). Sınır: 2012 tarihli; güncellenmiş sürümle birlikte kullanılmalıdır.
14	NIST CSF 2.0 (NIST, 2024)	Hükümet rehber belgesi	Güncel siber güvenlik çerçevesi. Normatif belge; sektöre özgü uyarlama gerektirir.
15	NIST SP 800-61 Rev. 3 (NIST, 2025)	Hükümet rehber belgesi	Güncel olay müdahale önerileri; çok paydaşlı yönetişim ve sektörel bağlam vurgusu. Normatif belge.
16	HHS 405(d) Task Group (2023)	Sektörel uygulama rehberi	Sağlık sektörüne özgü siber güvenlik uygulamaları. Politika önerileri için referans.
17	Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi 2024–2028 (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024)	Resmî strateji belgesi	Türkiye politika önerilerinin çerçevelenmesi. Sınır: Sağlık sektörüne özgü uygulama planı içermiyor.
18	T.C. Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi No. 177 (2025b)	Cumhurbaşkanlığı kararnamesi	Siber Güvenlik Başkanlığının kuruluş dayanağı. Normatif belge.
19	7545 Sayılı Siber Güvenlik Kanunu (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2025a)	Kanun	Ulusal siber güvenlikte görev, yetki ve yükümlülükler; kritik altyapı bildirim yükümlülükleri. Normatif belge.
20	Kişisel Verileri Koruma Kurulunun 24.01.2019 tarihli ve 2019/10 sayılı kararı (KVKK Kurulu, 2019)	Düzenleyici kurul kararı	Kişisel veri ihlali bildirim yükümlülükleri: Kurula en geç 72 saat; ilgili kişilere makul olan en kısa sürede. Normatif belge.

Kaynak: Yazar tarafından derlenmiştir.

4. BULGULAR: ULUSLARARASI DENEYİM

4.1. Siber Saldırıların Etki Boyutları

Siber saldırıların sağlık kurumları üzerindeki etkileri klinik ve operasyonel süreçler, finansal ve yasal yükümlülükler ile itibar ve güven açısından değerlendirilebilir. Tablo 3 bu etkileri yaklaşık zaman aralıkları içinde göstermektedir. Etkilerin ortaya çıkışı ve süresi, saldırının

kapsamına ve kurumun hazırlık düzeyine göre değişir. Tablodaki sonuçlar bütün olaylarda görülmeyebilir; piyasa değeri kaybı gibi bazı etkiler yalnızca halka açık kuruluşlar için geçerlidir.

Tablo 3. Siber Saldırıların Sağlık Kurumlarına Olası Etkileri: Üç Boyutlu Değerlendirme

Yaklaşık Zaman Dilimi*	**Klinik / Operasyonel**	**Finansal / Yasal**	**İtibar / Güven**
Kısa vade (ilk günler – haftalar)	Ameliyat iptalleri, hasta transferleri, görüntüleme ve laboratuvar erişim kesintisi, ilaç dozu doğrulama güçlüğü	Acil BT müdahale giderleri, dış danışman maliyetleri; sigorta talepleri	Medya haberleri, sosyal medya yayılımı, ilk hasta şikâyetleri
Orta vade (haftalar – aylar)	Kronik hastalık takibinde gecikmeler, ertelenmiş tanısal işlemler, veri bütünlüğü sorunları	KVKK ve sektörel yaptırımlar (olası); dava tazminatları (olası); sistem yenileme yatırımı	Personel motivasyonunda düşüş (olası); başvuru sayısında azalma (olası)
Uzun vade (aylar – yıllar)	Ertelenmiş bakım ihtiyacının birikmesi ve takip süreçlerinin uzaması (olası)	Sigorta primlerinde artış (olası); halka açık kuruluşlar için piyasa değeri kaybı riski (olası); uzun vadeli güvenlik yatırımı	Sağlık bilgi sistemine duyulan güvende aşınma; sağlık turizmi ve araştırma iş birliklerine olumsuz yansıma (olası); toplumsal güvende genel erozyon (olası)

**Zaman dilimleri örnek aralıklar olup kurum ve olay türüne göre değişir.*
Kaynak: Yazarlar tarafından, uluslararası literatür temel alınarak geliştirilmiştir.

Ampirik veriler, bu genel tabloya somut boyutlar kazandırmaktadır. WannaCry saldırısında yaklaşık 19.000 randevunun iptal edildiği tahmin edilmekte (NAO, 2017), toplam kesinti maliyetinin yaklaşık 92 milyon sterline ulaştığı belgelenmiştir (Department of Health and Social Care, 2018). Ghafur vd. (2019)'nin gözlemsel analizi, enfekte kuruluşlardaki azalan hastane faaliyetinin ekonomik değerini 5,9 milyon sterlin olarak hesaplamıştır; bu rakam yukarıdaki kapsamlı maliyet tahmininden farklı bir ölçütü yansıtmaktadır. Dameff vd. (2023), saldırıya uğramayan komşu hastanelerin acil servislerinde başvuru yükünün arttığını gözlemsel verilerle göstermiştir; bu bulgu siber olayların yalnızca hedef kurumu değil, çevresindeki sağlık sistemini de etkileyebileceğini göstermektedir. HSE bağımsız incelemesi, Conti saldırısının HSE'de hizmet sunumunu ciddi biçimde aksattığını göstermektedir (Health Service Executive, 2021).

4.2. Siber Kriz Yönetiminde Öne Çıkan Uygulamalar

İncelenen vaka raporları, örgütsel araştırmalar ve rehberler beş uygulama alanını öne çıkarmaktadır. Bu alanlar, sağlık yöneticilerinin hazırlık ve müdahale süreçlerini düzenlemesine yardımcı olmaktadır. Dayanakların çoğu vaka incelemesi, gözlemsel araştırma ve rehber niteliğinde olduğundan uygulamaların etkileri bu kanıt sınırları içinde yorumlanmalıdır.

İlk uygulama alanı, çok disiplinli bir komuta ve koordinasyon yapısının oluşturulmasıdır. WannaCry ve HSE raporları, müdahale sırasında yaşanan koordinasyon güçlüklerini ve klinik liderler ile üst yönetimin katılımının önemini vurgulamaktadır (NAO, 2017; Health Service Executive, 2021). Sağlık yöneticisinin görevi, teknik ekibin sistemleri kurtarma çabasını klinik ekiplerin bakım öncelikleriyle buluşturmak ve karar yetkilerini olay öncesinde açıklığa

kavuşturmaktır.
İkinci uygulama alanı, dijital sistemlere erişilemediğinde kullanılacak alternatif klinik işleyiştir. WannaCry sırasında hizmetlerin sürdürülmesinde alternatif prosedürlerin rolü, kâğıt tabanlı kayıt ve iletişim süreçlerinin önceden hazırlanmasının önemini göstermektedir (NAO, 2017). Bu prosedürler, hasta bakımının kesinti boyunca yürütülmesine yöneliktir. Teknik veri yedekleri ise sistemlerin güvenli biçimde geri yüklenmesini destekler. Kurumsal hazırlık her iki ihtiyacı da kapsamalı; çevrimdışı yedeklerin kullanılabilirliği düzenli olarak test edilmelidir.
Üçüncü uygulama alanı, tehdit istihbaratı paylaşımıdır. Health-ISAC (2024), sektörel bilgi paylaşımını hazırlık süreçlerini destekleyen bir uygulama olarak ele almaktadır. Sağlık yöneticileri açısından bu paylaşımın değeri, gelen uyarıların kurumun kullandığı sistemler ve hizmet öncelikleri bakımından değerlendirilmesine bağlıdır. Bağımsız etki araştırmalarının sınırlılığı dikkate alınarak bilgi paylaşımı, hazırlığı destekleyen bir araç olarak görülmelidir.
Dördüncü uygulama alanı, eğitim ve tatbikatların kurumsal işleyişe yerleştirilmesidir. Jalali ve Kaiser (2018), kaynakların, örgütsel koordinasyonun ve paydaş uyumunun siber güvenlik kapasitesindeki rolünü ortaya koymaktadır. NIST SP 800-61 Rev. 3 rehberi de tatbikatları hazırlığın bir bileşeni olarak önermektedir (NIST, 2025). Tatbikatlar, sağlık yöneticisine kâğıt üzerinde tanımlanan görevlerin kesinti koşullarında nasıl yerine getirileceğini görme ve eksiklikleri olay yaşanmadan belirleme olanağı sunar.
Beşinci uygulama alanı, paydaş iletişiminin önceden planlanmasıdır. Coombs'un (2019) kriz iletişimi yaklaşımı, farklı paydaşların bilgi gereksinimlerine uygun iletişimin önemini açıklamaktadır. Sağlık kurumlarında hastaların hizmete nereden ve nasıl erişeceğini bilmesi, çalışanların ortak talimatlarla hareket etmesi ve kamuoyuna doğrulanmış bilgi aktarılması bu planlamanın temel konularıdır. Bu yaklaşımın sağlık sektöründeki itibar sonuçları üzerindeki etkisi ise ayrıca araştırılmalıdır.

4.3. Önerilen Kavramsal Çerçeve: Beş Aşamalı Siber Kriz Yönetimi Modeli

İncelenen vaka ve rehberlerden hareketle sağlık kurumları için beş aşamalı bir çerçeve önerilmektedir (ISO, 2019; NIST, 2012, 2024, 2025). Çerçeve, teknik müdahale ilkelerini klinik hizmet sürekliliği ve sorumluluk dağılımıyla birlikte sunmaktadır. NIST SP 800-61 Rev. 2'deki dört aşamalı yapı tarihsel karşılaştırma zemini sağlarken 2025 tarihli Rev. 3 güncel olay müdahale yaklaşımını temsil etmektedir. Tablo 4'teki aşamalar birbirini kesin sınırlarla izleyen dönemler değildir; olayın niteliğine göre eş zamanlı veya yinelemeli yürütülebilir. Süreler örnek planlama aralıklarıdır. Önerilen çerçeve henüz ampirik olarak sınanmamıştır.

Tablo 4. Sağlık Kurumları için Önerilen Beş Aşamalı Siber Kriz Yönetimi Çerçevesi

Aşama	Örnek Planlama Aralığı†	Eş Zamanlı Yürütülmesi Gereken Temel Eylemler	Sorumlular
1. Hazırlık	Süregelen	Risk değerlendirmesi; BCP/DRP planlaması; kâğıt tabanlı klinik protokollerin ve test edilmiş çevrimdışı/değiştirilemez veri yedeklerinin hazır tutulması; tatbikatlar; siber sigorta; personel eğitimi	Yönetim kurulu, CISO/BT güvenlik birimi, klinik liderler, risk yönetimi
2. Tespit ve İlk Müdahale	Derhal (saatler)	Olay tespiti ve sınıflandırması; ağ izolasyonu; ihtiyaç doğduğu anda kâğıt tabanlı klinik işleyişe geçiş; delil koruma ve olay kaydı başlatma; kriz komuta merkezi aktivasyonu; yetkili bildirimler	CISO, olay müdahale ekibi, hukuk birimi, klinik direktörler

		(KVKK ve 7545 sayılı Kanun kapsamında)	
3. Kriz Yönetimi	Saatler – günler (paralel süreç)	Hasta güvenliği protokollerinin sürdürülmesi; hizmet sürekliliği; güvenlik açıklarının ilk giderilmesi ve doğrulanması; etkilenen sistemlerin klinik kritikliğe göre önceliklendirilmesi; paydaş iletişimi (hasta, personel, basın, düzenleyici)	Hastane yönetimi, klinik direktörler, iletişim sorumlusu, dış danışmanlar
4. İyileştirme	Günler – haftalar (paralel süreç)	Güvenli sistem kurtarma: güvenlik açıklarının giderildiğinin ve geri yüklenecek sistemlerin temizliğinin doğrulanması; veri bütünlüğü kontrolü; kâğıt kayıtların sisteme kontrollü aktarılması; adli analiz tamamlama; düzenleyici raporlama	BT ekibi, dış denetçiler, klinik liderler, düzenleyici kurum
5. Öğrenme ve Güçlendirme	Haftalar – aylar (yinelemeli)	Olay sonrası rapor; kalan açıkların kapatılması; politika ve prosedür güncellemesi; personel eğitiminin yenilenmesi; tehdit istihbaratı paylaşımı; bir sonraki tatbikat planlaması	Tüm yönetim düzeyleri, akreditasyon birimi, dış paydaşlar

†Planlama aralıkları örnek değerler olup kuruluşun iş etki analizi ve kabul edilebilir kesinti süresine göre belirlenmesi gerekir; evrensel standart değildir.
Kaynak: ISO (2019), NIST (2012, 2024, 2025) ve Boin vd. (2016) esas alınarak yazarlar tarafından geliştirilmiştir.

5. TÜRKİYE BAĞLAMI

5.1. Türkiye'deki Dijital Sağlık Altyapısı ve Siber Risk Profili

Türkiye'de e-Nabız, MEDULA, Merkezi Hekim Randevu Sistemi (MHRS) ve PACS gibi uygulamalar; sağlık hizmetlerinin dijital altyapısını oluşturmaktadır. Bu sistemlere bağımlılık, kesinti yönetiminin hastane düzeyinde ve kurumlar arası ilişkiler içinde ele alınmasını gerektirir. Bu incelemede erişilen açık kaynaklarda, Türkiye'deki büyük çaplı hastane siber olaylarını sistematik biçimde değerlendirmeye elverişli veri bulunamamıştır. Bu nedenle ulusal risk düzeyine ilişkin nicel bir sonuca ulaşılmamış; politika önerileri mevcut düzenlemeler ve uluslararası deneyimler üzerinden geliştirilmiştir.

5.2. Yasal Çerçeve ve Kurumsal Yapı

Siber Güvenlik Başkanlığı, 177 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesiyle (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2025b) kurulmuştur. **7545 sayılı Siber Güvenlik Kanunu** ise ulusal siber güvenliğe ilişkin görev, yetki ve yükümlülükleri düzenlemekte; kritik altyapı işleticileri için bildirim ve önlem yükümlülükleri öngörmektedir. **Ulusal Siber Olaylara Müdahale Merkezi (USOM)** koordinasyon ve uyarı görevini sürdürmekte; **Siber Olaylara Müdahale Ekipleri (SOME)**, kurumlar düzeyinde kurulan ve USOM ile koordineli çalışan ekiplerdir. Sağlık kurumlarında kurumsal SOME yapılarının oluşturulması bu çerçevede öngörülmektedir.

Kişisel veri ihlali bildirim yükümlülükleri açısından Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve Kişisel Verileri Koruma Kurulunun 24.01.2019 tarihli ve 2019/10 sayılı kararı, sağlık kuruluşlarının kişisel sağlık verisi içeren ihlalleri öğrenmelerinden itibaren gecikmeksizin ve en geç 72 saat içinde Kurula bildirmesini, ilgili kişilere de makul olan en kısa sürede bildirim yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Genel siber olay bildirim yükümlülükleri ise 7545 sayılı Kanun kapsamında ayrıca düzenlenmektedir. Bu iki yükümlülük kanalının sağlık kurumlarına özgü süreçlerinin netleştirilmesi, mevcut yasal çerçevenin uygulanabilirliğini artıracak öncelikli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

5.3. Mevcut Çerçevelerin Değerlendirmesi

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı koordinasyonunda hazırlanan Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi 2024–2028, sağlık sektörüne yönelik uygulamaların ilişkilendirilebileceği genel politika çerçevesini sunmaktadır. Sağlık hizmetlerine özgü süreklilik planları ve klinik müdahale protokolleri ise daha ayrıntılı uygulama belgeleri gerektirir. WannaCry sonrası güvenlik güncellemesi (Department of Health and Social Care, 2018) ve Health Industry Cybersecurity Practices rehberi (HHS 405(d) Task Group, 2023), bu tür belgeler için karşılaştırmalı referans sağlamaktadır. Türkiye açısından öncelik, ulusal ilkelerin hastanelerde görev dağılımına, alternatif bakım süreçlerine ve tatbikatlara nasıl dönüştürüleceğinin açıklanmasıdır. TÜSKA ve JCI standartlarında mevcut gerekliliklerin kapsamı ayrıca incelenmeli; yeni ölçüt önerileri bu incelemenin sonucuna dayandırılmalıdır.

6. TARTIŞMA

Sağlık yöneticisi açısından temel sorumluluk, dijital sistemlerin yeniden çalıştırılmasını beklemekle sınırlı değildir. Kesinti sürerken hangi hizmetlerin, hangi öncelikle ve hangi alternatif süreçlerle yürütüleceğini belirlemek de kriz yönetiminin merkezindedir. Bu nedenle siber hazırlık; yalnızca teknik altyapıyı değil, klinik iş akışlarının kesintisiz sürdürülebilmesini güvence altına alan yönetsel planlamayı da kapsamalıdır. Klinik liderler, BT ekibi, hukuk birimi ve iletişim sorumluları arasındaki koordinasyon, bu planlamanın olay sırasında uygulanmasını sağlayacak biçimde kurulmalıdır (Boin vd., 2016; Health Service Executive, 2021).

Bu yönetsel sorumluluğun olaydan önce karşılık bulması gerekir. Karar yetkilerinin tanımlanması, alternatif klinik süreçlerin hazırlanması ve ekiplerin birlikte çalışmasının sağlanması, süreklilik planlarının uygulanabilirliği açısından önem taşımaktadır (NAO, 2017; Health Service Executive, 2021). İncelenen kaynaklar hazırlık yatırımlarının toparlanma süresine etkisini doğrudan ölçen yeterli karşılaştırmalı kanıt sunmamaktadır. Bu sınır içinde siber güvenlik harcamaları, kritik hizmetleri sürdürme kapasitesine yönelik kurumsal bir yatırım olarak değerlendirilmektedir; çalışmadan maliyet etkinliğine ilişkin bir sonuç çıkarılmamaktadır.

Önerilen çerçevenin sağlık yönetimi açısından değeri, teknik müdahale ile klinik süreklilik arasındaki karar ilişkilerini görünür kılmasıdır. Hazırlık aşamasında belirlenen sorumluluklar, olay anında hizmet önceliklerine; kurtarma aşamasında ise güvenli işleyişe dönüş kararlarına yön vermelidir. Çerçevenin uygulanmasında kuruluşun büyüklüğü, kaynakları ve sunduğu hizmetlerin özellikleri dikkate alınmalıdır. Pilot uygulamalarda yalnızca sistemlerin yeniden açılma süresi değil, bakımın nasıl sürdürüldüğü ve ekipler arası karar süreçlerinin nasıl işlediği de değerlendirilmelidir.

Çalışmanın sınırlılıkları, amaçlı kaynak seçimine dayanan kavramsal tasarımı ve kullanılan belgelerin kapsamıyla ilişkilidir. Sistematik derleme yapılmadığı için ilgili bazı yayınlar kapsam dışında kalmış olabilir. Türkiye'ye ilişkin sistematik olay verilerine bu incelemede erişilememesi, ulusal durumun karşılaştırmalı değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca tehdit ortamının değişmesi güncelleme gerektirirken önerilen çerçevenin uygulanabilirliği ve etkileri ampirik araştırmalarla sınanmayı beklemektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sağlık kurumlarında siber kriz yönetimi, kesinti sırasında hasta bakımını sürdürecek kararların ve sorumlulukların önceden düzenlenmesini gerektirir. Bu çalışmada önerilen beş aşamalı çerçeve, teknik olay müdahalesini klinik hizmet sürekliliğiyle birlikte ele almaktadır. Sağlık

yöneticileri için temel öncelik, planların kurumsal işleyişe yerleşmesini sağlamak; görev dağılımını, alternatif klinik süreçleri ve güvenli kurtarma uygulamalarını düzenli olarak gözden geçirmektir. Türkiye'de bu çalışmaların ulusal stratejiyle uyumlu sektörel rehberler, bildirim süreçleri ve mesleki eğitimle desteklenmesi önerilmektedir. Aktörler düzeyindeki öneriler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Aktörlere Göre Politika Önerileri, Öncelik Düzeyi ve İzleme Göstergeleri

Aktör	**Öneri**	**Öncelik**	**İzleme Göstergesi**
Sağlık Bakanlığı	2024–2028 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ile uyumlu, sağlık sektörüne özgü hizmet sürekliliği planı ve uygulama rehberinin geliştirilmesi; siber olay raporlama süreçlerinin sektörel koordinasyonu	Kritik / Kısa vade	Rehber yayım tarihi; raporlayan kuruluş oranı
Siber Güvenlik Başkanlığı / USOM	7545 sayılı Kanun kapsamındaki yükümlülüklerin sağlık sektörüne özgü uygulanmasında koordinasyon; sağlık odaklı tehdit istihbaratı paylaşım mekanizması oluşturulması	Kritik / Kısa vade	Uyarı iletilen kuruluş sayısı; SOME kurulum oranı
Kişisel Verileri Koruma Kurulu	Kişisel veri ihlali bildirimi (Kurula en geç 72 saat; ilgili kişilere makul olan en kısa sürede) ile genel siber olay bildirimi arasındaki süreçlerin sağlık kurumlarına yönelik açıklayıcı rehberle netleştirilmesi	Yüksek / Kısa vade	Rehber yayım tarihi; bildirim süresi uyum oranı
Hastane Yöneticileri	Yıllık siber kriz tatbikatlarının planlama takvimine alınması; CISO pozisyonunun kuruluş büyüklüğü ve kaynaklarıyla orantılı biçimde üst yönetime raporlayacak şekilde yapılandırılması; kâğıt tabanlı klinik protokoller ve test edilmiş çevrimdışı veri yedeklerinin güncel tutulması	Yüksek / Orta vade	Yıllık tatbikat sayısı; BCP güncelleme tarihi
Akreditasyon Kuruluşları (TÜSKA vb.)	Mevcut standart setlerinin (TÜSKA, JCI) siber dayanıklılık gereklilikleri açısından gözden geçirilmesi; inceleme sonucuna göre ilgili gerekliliklerin eklenmesi	Orta / Orta vade	Standart revizyon tarihi; uyumsuzluk oranı
Tıp ve Sağlık Yönetimi Eğiticileri	Lisans ve lisansüstü müfredata siber kriz yönetimi derslerinin eklenmesi; sağlık yöneticileri için sürekli mesleki gelişim programları	Orta / Uzun vade	Müfredatta yer alan program sayısı
Araştırmacılar	Türkiye'de hastane siber olaylarının hasta sonuçlarına etkisini inceleyen ampirik çalışmalar; önerilen kavramsal çerçevenin farklı kuruluş büyüklükleri için pilot uygulamalarla sınanması	Orta / Uzun vade	Yayın sayısı; pilot uygulama raporları

Kaynak: Yazarlar tarafından geliştirilmiştir.

Gelecek araştırmalarda, Türkiye'deki hastane siber olaylarının hizmet sunumu ve hasta sonuçları üzerindeki etkileri incelenmelidir. Önerilen çerçevenin farklı büyüklükteki kuruluşlarda pilot uygulamalarla değerlendirilmesi ve bildirim yükümlülüklerine uyumun araştırılması, uygulamaya dönük kanıtın geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Boin, A., 't Hart, P., Stern, E., & Sundelius, B. (2016). The politics of crisis management: Public leadership under pressure (2nd ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316339756

Coombs, W. T. (2019). Ongoing crisis communication: Planning, managing, and responding (5th ed.). SAGE Publications.
Dameff, C., Tully, J., Chan, T. C., Castillo, E. M., Savage, S., Maysent, P., Hemmen, T. M., Clay, B. J., & Longhurst, C. A. (2023). Ransomware attack associated with disruptions at adjacent emergency departments in the US. JAMA Network Open, 6(5), Article e2312270. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.12270
Department of Health and Social Care. (2018). Securing cyber resilience in health and care: October 2018 progress update. UK Government. https://www.gov.uk/government/publications/securing-cyber-resilience-in-health-and-care-october-2018-update
ENISA. (2023). ENISA threat landscape for health sector 2023. European Union Agency for Cybersecurity. https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-for-health-sector
Ghafur, S., Kristensen, S., Honeyford, K., Martin, G., Darzi, A., & Aylin, P. (2019). A retrospective impact analysis of the WannaCry cyberattack on the NHS. npj Digital Medicine, 2, Article 98. https://doi.org/10.1038/s41746-019-0161-6
Health Service Executive. (2021). Conti cyber attack on the HSE: Independent post incident review. PricewaterhouseCoopers/Health Service Executive. https://www.hse.ie/eng/services/publications/conti-cyber-attack-on-the-hse-full-report.pdf
Health-ISAC. (2024). Current and emerging healthcare cyber threat landscape: Executive summary for CISOs. Health Information Sharing and Analysis Center. https://health-isac.org/current-and-emerging-healthcare-cyber-threat-landscape-executive-summary-for-cisos/
HHS 405(d) Task Group. (2023). Health industry cybersecurity practices: Managing threats and protecting patients (2023 ed.). U.S. Department of Health and Human Services. https://405d.hhs.gov/
ISO. (2019). ISO 22301:2019 — Security and resilience: Business continuity management systems — Requirements. International Organization for Standardization.
Jalali, M. S., & Kaiser, J. P. (2018). Cybersecurity in hospitals: A systematic, organizational perspective. Journal of Medical Internet Research, 20(5), Article e10059. https://doi.org/10.2196/10059
Kruse, C. S., Frederick, B., Jacobson, T., & Monticone, D. K. (2017). Cybersecurity in healthcare: A systematic review of modern threats and trends. Technology and Health Care, 25(1), 1–10. https://doi.org/10.3233/THC-161263
KVKK Kurulu. (2019). Kişisel Verileri Koruma Kurulunun 24.01.2019 tarihli ve 2019/10 sayılı kararı. Kişisel Verileri Koruma Kurumu. https://www.kvkk.gov.tr/Icerik/5362/Veri-Ihlali-Bildirimi
NAO. (2017). Investigation: WannaCry cyber attack and the NHS. National Audit Office. https://www.nao.org.uk/report/investigation-wannacry-cyber-attack-and-the-nhs/
NIST. (2012). Computer security incident handling guide (SP 800-61 Rev. 2). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-61r2
NIST. (2024). The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0. National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29
NIST. (2025). Incident response recommendations and considerations for cybersecurity risk management: A CSF 2.0 Community Profile (SP 800-61 Rev. 3). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-61r3
T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2025a). 7545 sayılı Siber Güvenlik Kanunu. Resmî Gazete, 19 Mart 2025, Sayı: 32846. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/03/20250319-1.htm
T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2025b). Siber Güvenlik Başkanlığı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (Kararname Sayısı: 177). Resmî Gazete, 8 Ocak 2025, Sayı: 32776.
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2024). Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi 2024–2028. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. https://hgm.uab.gov.tr/duyurular/ulusal-siber-guvenlik-stratejisi-ve-eylem-plani-2024-2028-yayimlandi

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SAĞLIK HİZMETLERİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YÖNETSEL KARAR VERME SÜREÇLERİ: FIRSATLAR, RİSKLER VE GELECEĞE YÖNELİK BİR DEĞERLENDİRME

Assoc. Prof. Dr. Fatih BUDAK
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences, Department of Healthcare Management, 70100, Karaman
ORCID ID: 0000-0002-6873-6204
Beyza BİLGİÇ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences, Department of Healthcare Management, 70100, Karaman
ORCID ID: 0009-0004-7050-8907

ÖZET
Yapay zekâ teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda olduğu kadar yönetsel karar verme süreçlerinde de önemli bir dönüşümü beraberinde getirmektedir. Artan hizmet talebi, sınırlı kaynaklar, yükselen maliyetler ve karmaşık sağlık hizmeti süreçleri; sağlık yöneticilerini daha hızlı, doğru ve kanıta dayalı kararlar almaya yöneltmektedir. Bu doğrultuda büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve tahmine dayalı modelleme gibi teknolojilerden yararlanan yapay zekâ destekli karar sistemleri, yönetsel süreçlerin etkinliğini artıran önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ destekli yönetsel karar verme süreçlerini güncel literatür doğrultusunda incelemek; bu teknolojilerin sağlık yönetimine sunduğu fırsatları, beraberinde getirdiği riskleri ve geleceğe yönelik olası etkilerini değerlendirmektir. Çalışma, anlatısal derleme yaklaşımıyla hazırlanmış olup konuya ilişkin güncel ulusal ve uluslararası literatür incelenmiştir. Bulgular, yapay zekânın stratejik planlama, insan kaynakları yönetimi, kapasite planlaması, hasta akışı yönetimi, finansal yönetim ve tedarik zinciri süreçlerinde yöneticilere önemli karar desteği sağlayabildiğini; ancak mevcut kanıtların büyük ölçüde modellerin teknik tahmin başarısına ilişkin olduğunu, kurumsal sonuçlara etkiyi gösteren çalışmaların ise sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle veri temelli karar alma kültürünün güçlenmesi, kaynak kullanımının optimize edilmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve geleceğe yönelik öngörülerin geliştirilmesi; yapay zekâ uygulamalarının öne çıkan katkıları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte veri kalitesi, algoritmik önyargılar, açıklanabilirlik, veri güvenliği ve etik yönetişim gibi konuların; yapay zekâ uygulamalarının etkinliğini etkileyen temel risk alanları olduğu belirlenmiştir. Çalışma ayrıca; kararın niteliğini, yapay zekânın karar sürecindeki rolünü, yönetsel denetim gereklerini ve beklenen kurumsal sonuçları bütünleştiren bir "Yapay Zekâ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi Çerçevesi" önermektedir. Bu çerçeve, ampirik olarak doğrulanmış bir model değil; ileride sınanabilecek önermeler içeren kavramsal bir sentezdir. Sonuç olarak yapay zekâ, sağlık yöneticilerinin yerini alan bir teknoloji değil; onların karar verme kapasitesini güçlendiren stratejik bir karar destek mekanizmasıdır. Sağlık kurumlarında yapay zekâ uygulamalarından sürdürülebilir fayda sağlanabilmesi için güçlü veri yönetişimi, etik ilkeler, dijital yetkinlikler ve insan odaklı yönetim anlayışının birlikte geliştirilmesi gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, sağlık yönetimi, yönetsel karar verme, karar destek sistemleri, dijital dönüşüm

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MANAGERIAL DECISION-MAKING PROCESSES IN HEALTHCARE: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT

Recent advances in artificial intelligence (AI) technologies have led to a profound transformation not only in healthcare delivery but also in managerial decision-making processes. Increasing healthcare demands, limited resources, rising costs, and the growing complexity of healthcare services require healthcare managers to make faster, more accurate, and evidence-based decisions. In this context, AI-supported decision support systems have emerged as essential tools for enhancing managerial effectiveness through technologies such as big data analytics, machine learning, and predictive modeling. This study aims to examine AI-supported managerial decision-making processes in healthcare by reviewing the current literature and evaluating the opportunities, potential risks, and future implications of AI for healthcare management. The study was designed as a narrative literature review, drawing upon recent national and international publications on the subject. The findings indicate that AI can provide substantial decision support for healthcare managers in strategic planning, human resource management, capacity planning, patient flow management, financial management, and supply chain operations; however, most of the available evidence concerns the technical predictive performance of models, while studies demonstrating effects on institutional outcomes remain limited. The major benefits of AI include strengthening data-driven decision-making, optimizing resource utilization, improving operational efficiency, and enhancing predictive management capabilities. However, issues such as data quality, algorithmic bias, explainability, data security, and ethical governance remain significant challenges that may limit the effective implementation of AI in managerial processes. The study also proposes an AI-Supported Managerial Decision Governance Framework that integrates decision structure, the role of AI in the decision process, managerial oversight requirements, and expected institutional outcomes; the framework is a conceptual synthesis offering testable propositions rather than an empirically validated model. In conclusion, AI should not be regarded as a substitute for healthcare managers but rather as a strategic decision support mechanism that enhances managerial decision-making capacity. Achieving sustainable benefits from AI applications in healthcare requires robust data governance, ethical principles, digital competencies, and a human-centered management approach.

Keywords: Artificial intelligence, healthcare management, managerial decision-making, decision support systems, digital transformation

1. GİRİŞ

Sağlık sistemleri, bir yandan nüfusun yaşlanması, kronik hastalık yükünün artması ve teknolojik yoğunluğun yükselmesi nedeniyle giderek büyüyen bir taleple; öte yandan sınırlı bütçeler ve insan gücü açığıyla karşı karşıyadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2030 yılına kadar küresel ölçekte yaklaşık 11,1 milyon sağlık çalışanı açığı oluşacağını öngörmektedir (World Health Organization [WHO], 2025). Bu tablo, sağlık yöneticilerinin kaynakları daha dikkatli planlamasını, kapasiteyi daha isabetli tahmin etmesini ve kararlarını sezgiden çok kanıta dayandırmasını zorunlu kılmaktadır.

Yapay zekâ (YZ), bu baskılara karşı sağlık kurumlarının başvurduğu araçların başında gelmektedir. Ancak literatürün büyük bölümü, YZ'nin tanı, görüntüleme ve tedavi gibi klinik alanlardaki katkısına odaklanmıştır (Topol, 2019; Davenport ve Kalakota, 2019). Kaynak

dağılımı, iş akışı ve finans gibi klinik dışı yönetim alanları ise görece az çalışılmıştır (Gjini ve Fetahi, 2025). Oysa yatak doluluk oranının tahmini, nöbet listelerinin hazırlanması, ameliyathane planlaması ya da stok düzeyinin belirlenmesi gibi kararlar, doğrudan hasta bakımının sürekliliğini ve kurumun mali sürdürülebilirliğini etkilemektedir.

Türkiye'de de konuya ilgi artmakla birlikte, çalışmaların önemli bir kısmı sağlık çalışanlarının YZ'ye yönelik tutumlarına ya da klinik uygulamalara yönelmiştir. Yönetsel süreçleri doğrudan ele alan az sayıdaki çalışmadan biri olan Açıkgöz (2026), hastane yöneticilerinin YZ'yi karar desteği, erken uyarı ve tahminleme aracı olarak gördüğünü; bununla birlikte veri güvenliği, altyapı eksikliği ve çalışan direncini önemli engeller olarak tanımladığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, yönetsel karar süreçlerinin fırsat ve riskleriyle birlikte bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çerçevede çalışmanın amacı, sağlık hizmetlerinde YZ destekli yönetsel karar verme süreçlerini güncel ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda incelemektir. Çalışma şu sorulara yanıt aramaktadır:

1. YZ, sağlık kurumlarında hangi yönetsel karar alanlarında, ne tür bir destek sağlamaktadır?
2. YZ destekli yönetsel kararların etkinliğini sınırlayan başlıca riskler nelerdir?
3. Sağlık yöneticileri ve politika yapıcılar, bu teknolojilerden sürdürülebilir fayda sağlamak için hangi koşulları oluşturmalıdır?

Literatürde insan–YZ iş birliği ve otomasyon–güçlendirme ayrımı, genel yönetim ve örgüt kuramı düzeyinde tartışılmaktadır (Raisch ve Krakowski, 2021; Shrestha vd., 2019). Ancak bu tartışmaların sağlık kurumlarındaki yönetsel karar türleriyle, her karar türünde gereken denetim düzeyiyle ve beklenen kurumsal sonuçlarla nasıl ilişkilendirileceği yeterince ele alınmamıştır. Bu çalışmanın özgün katkısı, söz konusu boşluğa yönelik olarak dağınık literatürü yönetsel kararlar ekseninde bir araya getirmesi, mevcut kanıtları teknik tahmin başarısı, yönetsel kullanım ve kurumsal sonuç düzeylerine göre ayrıştırması ve bu sentezden hareketle sağlık kurumlarına özgü bir "YZ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi Çerçevesi" önermesidir. Önerilen çerçeve, ampirik olarak doğrulanmış bir model değil; ileride sınanabilecek önermeler içeren kavramsal bir sentezdir.

2. YÖNTEM

Çalışma, anlatısal derleme yaklaşımıyla hazırlanmıştır. Anlatısal derleme, hızla gelişen ve farklı disiplinlerin kesişiminde yer alan konularda, dağınık bilgiyi kavramsal bir bütünlük içinde yorumlamaya imkân verdiği için tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, sistematik derlemeden farklı olarak bütün çalışmaları kapsama iddiası taşımamakta; bunun yerine konunun temel tartışmalarını ortaya koymayı amaçlamaktadır (Green vd., 2006). Çalışmanın kurgusunda, anlatısal derlemelerin niteliğini değerlendirmek için geliştirilen SANRA ölçeğinin önerdiği ilkeler (önemin gerekçelendirilmesi, amacın açık biçimde ifade edilmesi, literatür taramasının tanımlanması ve kaynak gösterme) göz önünde bulundurulmuştur (Baethge vd., 2019).

Literatür taraması, Ekim 2026'da gerçekleştirilmiştir. Bilimsel yayınlara, akademik arama motorları, PubMed ve yayıncı veri tabanları üzerinden; ulusal literatüre ise DergiPark üzerinden ulaşılmıştır. Politika ve mevzuat belgeleri, ilgili kurumların resmî kaynaklarından (DSÖ, EUR-Lex ve Resmî Gazete) elde edilmiştir. Taramada "artificial intelligence", "healthcare management", "hospital management", "managerial decision-making", "decision support", "patient flow", "workforce scheduling" ve "supply chain" ile bunların Türkçe karşılıkları (yapay zekâ, sağlık yönetimi, hastane yönetimi, yönetsel karar verme, karar destek sistemleri) farklı bileşimlerle kullanılmıştır. Anlatısal derlemenin niteliğine uygun olarak tarama, sistematik bir kayıt ve eleme süreci olarak değil, konunun temel tartışmalarını kapsayacak

biçimde amaçlı ve yinelemeli olarak yürütülmüştür; bu nedenle ilk taramada ulaşılan kayıt sayısı tutulmamış ve raporlanmamıştır.

Kaynak seçiminde şu ölçütler esas alınmıştır: (a) 2018–2026 yılları arasında yayımlanmış olmak; (b) hakemli dergi makalesi, uluslararası kuruluş raporu ya da resmî politika belgesi niteliğinde bulunmak; (c) YZ'nin klinik kararlardan çok yönetsel ve operasyonel kararlar üzerindeki etkisini ele almak; (d) Türkçe veya İngilizce yayımlanmış olmak. Yönetsel karar verme kuramının temellerini oluşturan klasik eserler ile algoritmik önyargı ve otomasyon yanlılığı gibi riskleri belgeleyen temel çalışmalar, tarih ölçütüne bakılmaksızın kavramsal çerçeve amacıyla kullanılmıştır. Hakem sürecinden geçmemiş bildiri özetleri, kurumsal tanıtım metinleri ve yalnızca klinik tanı doğruluğunu raporlayan çalışmalar kapsam dışında bırakılmıştır. Türkiye'deki güncel politika gelişmeleri için resmî belgeler esas alınmış; resmî metinde yer almayan uygulama ayrıntıları için sınırlı ölçüde haber kaynağına başvurulmuş ve bu durum metinde açıkça belirtilmiştir.

Kaynakların seçimi ve sınıflandırılması, yazarlar tarafından gerçekleştirilmiş; sistematik derlemelerdeki gibi iki araştırmacının bağımsız değerlendirmesine ve uzlaşı sürecine dayanan bir yöntem uygulanmamıştır. Nihai metinde 36 kaynak kullanılmıştır. Kaynaklar, metindeki birincil kullanım amaçlarına göre birbirini dışlayan altı gruba ayrılmıştır: yönetsel karar alanlarına ilişkin sekiz ampirik çalışma ve derleme, risk alanlarına ilişkin altı çalışma, on bir politika ve mevzuat belgesi, beş kuramsal eser, iki yöntem kaynağı ve bağlam bilgisi için dört kaynak. Bazı kaynaklar metnin birden fazla bölümünde kullanılmış olsa da (ör. Açıkgöz, 2026; Obermeyer vd., 2019) her kaynak yalnızca birincil kullanım amacına göre bir kez sınıflandırılmıştır. Kaynak–kategori eşleştirmesi Ek 1'de sunulmuştur.

Tematik kategoriler iki aşamada oluşturulmuştur. Fırsat alanları, yönetim fonksiyonlarına dayanan ve önceden belirlenen bir çerçeveyle (stratejik planlama, insan kaynakları, kapasite ve hasta akışı, finansal yönetim, tedarik zinciri) tümdengelimli olarak sınıflandırılmıştır. Risk alanları ise kaynakların okunması sırasında tekrar eden sorunlar üzerinden tümevarımlı olarak belirlenmiştir. Bulgular yorumlanırken kaynakların tasarımı (sistematik derleme, tek merkezli geriye dönük çalışma, nitel araştırma, politika belgesi) dikkate alınmış ve sonuçlar kanıtın niteliğiyle orantılı bir dille ifade edilmiştir. Bu amaçla literatür, kanıt odağına göre teknik tahmin performansı, yönetsel karar sürecinde kullanım ve kurumsal sonuçlara etki olmak üzere üç düzeyde değerlendirilmiştir. Çalışma, ikincil kaynaklara dayandığı için etik kurul onayı gerektirmemektedir. Çalışmanın bulguları, incelenen araştırmaların yöntemsel özellikleri ve kapsamlarıyla sınırlıdır; bu nedenle elde edilen değerlendirmelerden doğrudan neden-sonuç ilişkisi çıkarılması amaçlanmamıştır.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Yönetsel Karar Verme ve Sınırlı Rasyonellik

Yönetim, özünde bir karar verme sürecidir. Simon (1997), yöneticilerin bütün seçenekleri ve sonuçlarını bilerek en iyi kararı veremediğini; bilgiye erişim, zaman ve bilişsel kapasite sınırları nedeniyle "tatmin edici" bir çözümle yetindiğini ileri sürmüştür. Sınırlı rasyonellik olarak adlandırılan bu durum, sağlık kurumlarında daha belirgindir; çünkü yönetici, aynı anda hasta güvenliği, maliyet, mevzuat ve çalışan memnuniyeti gibi çoğu zaman birbiriyle çatışan ölçütleri gözetmek zorundadır. YZ'nin yönetsel değeri, tam da bu sınırları genişletme potansiyelinden kaynaklanmaktadır: Büyük veri setlerini insanın işleyemeyeceği hızda tarayarak örüntüleri ortaya çıkarmakta ve yöneticinin önüne daha geniş bir seçenek kümesi koymaktadır.

Kararların yapısı, YZ'nin sürece ne ölçüde dâhil edilebileceğini belirlemektedir. Gorry ve Scott Morton (1971), kararları yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olarak sınıflandırmıştır. Stok yenileme gibi kuralları belirli, tekrar eden kararlar otomasyona daha

yatkınken, yeni bir hizmet biriminin açılması gibi belirsizliği ve değer yargısı yüksek kararlar, insan muhakemesinin ağırlığını korumaktadır.

3.2. İnsan ve Yapay Zekâ Arasında Karar Yetkisinin Paylaşımı

YZ'nin örgütsel karar süreçlerine eklenmesi, karar yetkisinin kim tarafından ve nasıl kullanılacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Shrestha vd. (2019), bu ilişkiyi üç temel yapı üzerinden açıklamaktadır: Kararın tamamen algoritmaya devredilmesi, algoritma ile insanın ardışık olarak kararda yer alması ve iki tarafın değerlendirmelerinin bir araya getirilmesi. Jarrahi (2018) ise YZ'nin karmaşık veri analizinde, insanın ise belirsizlik ve çok anlamlılık içeren durumlarda üstün olduğunu belirterek iki tarafı birbirini tamamlayan bir "ortaklık" içinde görmektedir.

Raisch ve Krakowski (2021), bu tartışmayı otomasyon ile güçlendirme (augmentation) arasındaki gerilim olarak tanımlamaktadır. Onlara göre YZ'yi yalnızca iş gücünü ikame eden bir araç olarak görmek de, yalnızca insanı destekleyen bir araç olarak görmek de eksik kalmaktadır; çünkü aynı görev zaman içinde bir yaklaşımdan diğerine kayabilmektedir. Bu çalışmada benimsenen yaklaşım, sağlık yönetiminde YZ'nin başlıca işlevinin yöneticinin yerini almak değil, onun karar kapasitesini güçlendirmek olduğu yönündedir. Tablo 1, karar türlerine göre YZ'nin üstlenebileceği rolleri özetlemektedir.

Tablo 1. Karar türüne göre yapay zekânın yönetsel süreçteki rolü

Karar türü	Sağlık yönetiminden örnek	YZ'nin uygun rolü	İnsanın rolü
Yapılandırılmış	İlaç ve sarf malzemesi stok yenileme, randevu hatırlatma	Otomasyon (kuralları belirli işlerin yerine getirilmesi)	İzleme ve istisnaları yönetme
Yarı yapılandırılmış	Yatak planlaması, nöbet listesi, ameliyathane programlaması	Tahmin ve seçenek üretme	Seçenekler arasında tercih ve onay
Yapılandırılmamış	Yeni hizmet birimi açılması, uzun dönemli yatırım kararı	Senaryo analizi ve bilgi sentezi	Değer yargısı, paydaş uzlaşısı ve nihai karar

Kaynak: Gorry ve Scott Morton (1971), Shrestha vd. (2019) ve Raisch ve Krakowski (2021) esas alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

4. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YÖNETSEL KARAR ALANLARI: FIRSATLAR

Literatür, YZ'nin sağlık kurumlarında tek bir yönetsel işleve değil; planlamadan finansa uzanan geniş bir karar yelpazesine destek sağladığını göstermektedir. 2015–2024 yılları arasında klinik dışı sağlık yönetimine ilişkin 80 çalışmayı inceleyen Gjini ve Fetahi (2025), YZ'nin etkisini verimlilik, finans ve etik olmak üzere üç temel alanda toplamış; bununla birlikte umut verici bulgular ile gerçek kurumsal uygulama arasında belirgin bir "uygulama açığı" bulunduğuna dikkat çekmiştir. Aşağıda bu alanlar, yönetim fonksiyonları çerçevesinde ele alınmaktadır.

4.1. Stratejik Planlama

Stratejik planlama, kurumun gelecekteki hizmet talebini, kapasite ihtiyacını ve yatırım önceliklerini öngörmeyi gerektirmektedir. YZ temelli tahmin modelleri demografik eğilimleri, hastalık yükünü ve geçmiş hizmet kullanımını bir arada değerlendirerek yöneticilere farklı senaryolar sunabilmektedir (Bhagat ve Kanyal, 2024). Bu sayede yeni bir polikliniğin açılması, yatak kapasitesinin artırılması veya teknolojik yatırım yapılması gibi kararlar, geçmiş deneyimden çok veriye dayanan öngörülerle desteklenebilmektedir. Bununla birlikte bu alandaki kanıtlar ağırlıklı olarak kavramsal ve derleme düzeyindedir; YZ'nin stratejik kararların sonuçları üzerindeki etkisini doğrudan ölçen ampirik çalışmalar henüz sınırlıdır. Ayrıca

stratejik kararlar yapılandırılmamış nitelikte olduğundan, YZ bu düzeyde kararı vermekten çok kararın bilgi zeminini güçlendirmektedir.

4.2. İnsan Kaynakları Yönetimi

Sağlık insan gücü açığı, iş yükünün doğru tahmin edilmesini ve personelin dengeli dağıtılmasını kritik hâle getirmektedir. Zürih Üniversite Hastanesinde sekiz servise ait 2017–2021 verileriyle yürütülen bir çalışmada, makine öğrenmesi modelleri vardiya düzeyindeki hemşirelik iş yükünü geleneksel yöntemlerden daha isabetli tahmin etmiştir (McMahon vd., 2025). Bu tür modeller, nöbet listelerinin hazırlanmasında yöneticinin sezgisini veriye dayalı bir öngörüyle tamamlamakta; personel fazlası ve eksiğinin önceden fark edilmesine imkân vermektedir. Ne var ki aynı çalışma, kayıt altına alınan hemşirelik faaliyetleri ile gerçek iş yükü arasındaki farkların veri kalitesi sorununa işaret ettiğini de vurgulamaktadır.

4.3. Kapasite Planlaması ve Hasta Akışı

Acil servis yoğunluğu, yatak darlığı ve ameliyathane verimsizliği, hastane yönetiminin en gündelik ve en maliyetli sorunları arasında yer almaktadır. Acil serviste triyaj aşamasında elde edilen verilerle hastanın yatışının yüksek doğrulukla öngörülebildiği gösterilmiştir (Hong vd., 2018). Bu öngörü, yatak tahsisinin hasta servise ulaşmadan planlanması için önemli bir bilgi sağlamaktadır. Ancak burada üç düzeyi birbirinden ayırmak gerekir: Modelin geçmiş verilerde yatışı doğru tahmin etmesi teknik bir başarıdır; modelin yatak yönetimi kararlarında fiilen kullanılması ayrı bir aşamadır; bu kullanımın bekleme süresini kısaltması ise ancak ayrıca sınandığında ileri sürülebilecek bir kurumsal sonuçtur. Söz konusu çalışma birinci düzeye ilişkin kanıt sunmaktadır; bu nedenle bekleme süresinin kısalması kanıtlanmış bir sonuç değil, modelin yönetsel kullanıma aktarılmasıyla ulaşılabilecek bir potansiyeldir. Ameliyathane yönetimine ilişkin 22 çalışmayı inceleyen Bellini vd. (2024) da YZ'nin ameliyat süresinin tahmini ve vaka planlaması gibi alanlarda yöneticilere katkı sunabileceğini göstermiş; bununla birlikte alanın hâlâ gelişme aşamasında olduğunu vurgulamıştır.

4.4. Finansal Yönetim

YZ, finansal yönetimde maliyet tahmini, faturalama hatalarının tespiti ve usulsüz ödeme taleplerinin belirlenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sağlık sigortası taleplerindeki usulsüzlüklerin tespitine yönelik makine öğrenmesi yöntemlerini inceleyen Curtis vd. (2025), bu yöntemlerin milyonlarca talebin elle incelenmesinin mümkün olmadığı bir ortamda önemli bir denetim kapasitesi sağladığını; ancak açıklanabilirlik ve karşılaştırılabilir performans ölçütlerinin hâlâ yetersiz olduğunu belirlemiştir. Bu bulgu, bir ödeme talebinin reddedilmesi gibi hak doğuran kararlarda modelin gerekçesinin açıklanabilir olmasının yönetsel bir zorunluluk olduğunu göstermektedir.

4.5. Tedarik Zinciri ve Stok Yönetimi

İlaç ve tıbbi malzeme stoklarının yönetimi, hem hasta güvenliği hem de maliyet açısından hassas bir dengeyi gerektirmektedir. 2011–2025 arasında yayımlanan 64 çalışmayı inceleyen Johnson ve Ebakivie (2026), analitik, YZ ve algoritmaların birlikte kullanıldığı bütünleşik yaklaşımların tek yöntemli çözümlerden daha başarılı olduğunu; bununla birlikte acil satın alma gibi hasta güvenliği açısından en kritik alanların görece ihmal edildiğini saptamıştır. Ulusal düzeyde Açıkgöz (2026) da hastane yöneticilerinin planlama, faturalama ve stok yönetimini YZ'den en çok fayda beklenen alanlar arasında gördüğünü belirlemiştir.

Tablo 2, YZ'nin yönetsel fonksiyonlara göre sunduğu karar desteğini ve bu desteğin başlıca sınırlılıklarını özetlemektedir.

Tablo 2. Yönetsel fonksiyonlara göre yapay zekâ destekli karar alanları

Yönetsel fonksiyon	Örnek karar	YZ'nin katkısı	Öne çıkan sınırlılık
Stratejik planlama	Yeni hizmet birimi, yatırım önceliği	Talep tahmini, senaryo analizi	Uzun dönemli belirsizlik; değer yargısının ağırlığı
İnsan kaynakları	Nöbet listesi, personel dağılımı	Vardiya düzeyinde iş yükü tahmini	Kayıtlı iş yükü ile gerçek iş yükü arasındaki fark
Kapasite ve hasta akışı	Yatak tahsisi, ameliyathane programı	Yatış ve ameliyat süresi tahmini	Tahmin başarısının kurumsal sonuca dönüştüğüne dair kanıt eksikliği; modellerin farklı kurumlara aktarılabilirliği
Finansal yönetim	Maliyet tahmini, ödeme taleplerinin denetimi	Usulsüz taleplerin tespiti, faturalama hatalarının belirlenmesi	Açıklanabilirlik; karşılaştırmalı performans ölçütlerinin eksikliği
Tedarik zinciri	Stok düzeyi, satın alma zamanlaması	Talep tahmini, stok sınıflandırması	Veri kalitesi, birlikte çalışabilirlik, siber güvenlik

Kaynak: Bellini vd. (2024), McMahon vd. (2025), Curtis vd. (2025), Gjini ve Fetahi (2025), Açıkgöz (2026) ve Johnson ve Ebakivie (2026) esas alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

5. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YÖNETSEL KARARLARIN RİSKLERİ

YZ'nin yönetsel süreçlere sunduğu fırsatlar, bazı koşullar sağlanmadığında ciddi risklere dönüşebilmektedir. Bu riskler, teknik olduğu kadar örgütsel ve etik niteliktedir.

5.1. Veri Kalitesi

Eğitim verilerindeki eksiklik ve yanlılıklar, model çıktılarının güvenilirliğini önemli ölçüde sınırlayabilmektedir. Eksik, hatalı ya da farklı sistemlerde farklı biçimlerde tutulan veriler, modelin öngörülerini doğrudan bozmaktadır. Hemşirelik iş yüküne yönelik çalışmada kayıt ile gerçeklik arasındaki farkın ayrıca araştırılması gerektiğinin vurgulanması (McMahon vd., 2025) ve stok yönetiminde veri kalitesi ile birlikte çalışabilirliğin bulguların genellenebilirliğini sınırlaması (Johnson ve Ebakivie, 2026), bu sorunun farklı yönetsel alanlarda ortak olduğunu göstermektedir. Ulusal düzeyde de yöneticiler tekrarlı veri girişlerini ve parçalı süreçleri temel sorunlar arasında saymaktadır (Açıkgöz, 2026).

5.2. Algoritmik Önyargı

Algoritmik önyargı, en çarpıcı biçimde bir yönetsel karar aracında belgelenmiştir. Obermeyer vd. (2019), ABD'de yüksek riskli hastaları ek bakım yönetimi programlarına yönlendirmek için yaygın biçimde kullanılan bir algoritmanın, sağlık ihtiyacını ölçmek için sağlık harcamalarını ölçüt aldığını ve bu nedenle hizmete erişimi zaten düşük olan Siyahi hastaların ihtiyacını sistematik olarak olduğundan düşük gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu örnek, yöneticinin modele hangi soruyu sorduğunun, yani hedef değişkenin seçiminin, en az modelin teknik doğruluğu kadar önemli olduğunu göstermektedir. Geçmiş hizmet kullanımına dayanan kapasite ve kaynak dağılımı modelleri de, kırsal bölgeler ya da dezavantajlı gruplar aleyhine var olan eşitsizlikleri yeniden üretebilir.

5.3. Açıklanabilirlik

Pek çok YZ modeli, önerisine nasıl ulaştığını açıklıkla gösterememektedir. Amann vd. (2020), açıklanabilirliğin yalnızca teknik bir özellik olmadığını; hukuki, etik ve kullanıcı bakış açılarını birlikte ilgilendiren çok boyutlu bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır. Yönetim açısından

bu durum hesap verebilirlik sorununu doğurmaktadır: Bir nöbet dağılımı ya da satın alma kararı sorgulandığında, yönetici gerekçesini açıklayamadığı bir öneriye dayanmış olmaktadır.

5.4. Otomasyon Yanlılığı ve Algoritmaya Karşı Direnç

YZ'nin karar sürecine etkisi, insanın ona gösterdiği güvenin düzeyine bağlıdır. Bir uçta, kullanıcıların otomatik sistemlerin önerilerini yeterince sorgulamadan kabul etmesi olarak tanımlanan otomasyon yanlılığı bulunmaktadır (Goddard vd., 2012). Diğer uçta ise insanların, bir algoritmanın hata yaptığını gördükten sonra ortalamada insandan daha iyi performans gösterse bile ona güvenmekten kaçınması yer almaktadır (Dietvorst vd., 2015). Her iki eğilim de yönetsel kararın niteliğini düşürmektedir. Dolayısıyla sorun, yalnızca modelin doğruluğu değil; yöneticinin modele ne zaman güveneceğini ve ne zaman güvenmeyeceğini bilmesidir.

5.5. Veri Güvenliği

YZ uygulamaları, büyük miktarda kişisel sağlık verisinin bir araya getirilmesini gerektirdiğinden kurumun siber saldırılara açık yüzeyini genişletmektedir. ABD'de sağlık kurumlarına yönelik fidye yazılımı saldırılarının 2016–2021 döneminde iki katından fazla arttığı belirlenmiştir (Neprash vd., 2022). Yönetsel kararların giderek artan ölçüde dijital sistemlere bağımlı hâle gelmesi, bir saldırının yalnızca veri kaybına değil, hizmet sürekliliğinin kesintiye uğramasına da yol açabileceği anlamına gelmektedir.

5.6. Etik Yönetişim ve Hesap Verebilirlik

DSÖ, sağlıkta YZ kullanımına ilişkin rehberinde insan özerkliğinin korunması, şeffaflık, sorumluluk ve hesap verebilirlik ile kapsayıcılık ve hakkaniyet gibi ilkeleri temel almaktadır (WHO, 2021). Avrupa Birliği'nin (AB) Yapay Zekâ Tüzüğü de kamu otoritelerinin sağlık hizmetleri dâhil temel kamu hizmetlerinden yararlanma hakkını değerlendirirken kullandığı sistemleri yüksek riskli kabul etmekte ve bu sistemler için insan gözetimi, kayıt tutma ve şeffaflık yükümlülükleri getirmektedir (European Parliament and Council, 2024). Kurum düzeyinde ise Reddy vd. (2020), YZ'nin sağlıkta güvenle kullanılabilmesi için hakkaniyet, şeffaflık, güvenilirlik ve hesap verebilirlik üzerine kurulu bir yönetişim modeli önermektedir. Bu belgelerin ortak mesajı, YZ destekli bir kararın sorumluluğunun algoritmaya değil, onu kullanan kurum ve yöneticiye ait olduğudur.

5.7. Riskler Arasındaki Etkileşim

Yukarıda ele alınan riskler birbirinden bağımsız değildir; çoğu zaman birbirini besleyerek ortaya çıkmaktadır. Veri kalitesi sorunları, algoritmik önyargının başlıca kaynaklarından biridir: Obermeyer vd. (2019) örneğinde önyargı, sağlık ihtiyacının yerine eldeki harcama verisinin kullanılmasından doğmuştur. Açıklanabilirlik eksikliği ise otomasyon yanlılığı ve algoritmaya karşı dirençle doğrudan ilişkilidir; gerekçesi görülemeyen bir öneri, yönetici tarafından ya sorgusuz kabul edilmekte ya da bütünüyle reddedilmektedir (Amann vd., 2020; Goddard vd., 2012). Verinin daha isabetli tahmin için tek merkezde toplanması da model başarısını artırırken siber saldırılara açık yüzeyi büyütmektedir. Bu nedenle risklerin tek tek değil, onları birlikte ele alan bir yönetişim yapısı içinde yönetilmesi gerekmektedir (Reddy vd., 2020; WHO, 2021). Bu gözlem, Tartışma bölümünde önerilen çerçevenin de çıkış noktasını oluşturmaktadır.

6. TÜRKİYE BAĞLAMI VE GELECEĞE YÖNELİK DEĞERLENDİRME

6.1. Türkiye'de Durum

Türkiye, YZ destekli yönetsel karar süreçleri açısından önemli bir veri altyapısına sahiptir. Sağlık Bakanlığının ulusal ölçekte işlettiği e-Nabız, Merkezî Hekim Randevu Sistemi (MHRS) ve hastane bilgi yönetim sistemleri, hizmet kullanımına ilişkin geniş ve sürekli bir veri akışı sağlamaktadır. Bu veri birikimi, kapasite planlaması ve kaynak dağılımı gibi kararlar için güçlü bir zemin oluşturmaktadır. Bununla birlikte verinin yönetsel karar desteğine dönüştürülmesi,

kurum düzeyinde analitik kapasiteyi ve veri yönetişimini gerektirmektedir.

Politika düzeyinde 2021/18 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile yürürlüğe konulan Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025) (Cumhurbaşkanlığı, 2021), 18 Ağustos 2026 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan 2026/9 sayılı Genelge ile Türkiye Yapay Zekâ Eylem Planı (2026–2030) tarafından takip edilmiştir (Cumhurbaşkanlığı, 2026). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının eşgüdümünde hazırlanan Eylem Planı insan odaklılık, güvenilirlik ve etik sorumluluk ilkelerine dayanmakta ve "Fark Et, İstifade Et, Üret ve Yönet" eksenleri üzerine kurulmaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2026). Kamuoyuna yansıyan bilgilere göre sağlık, sektörel pilot programların uygulanacağı öncelikli alanlar arasında yer almaktadır (Hukuki Haber, 2026). Kişisel sağlık verilerinin işlenmesi ise 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu ve Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik çerçevesinde düzenlenmektedir (6698 sayılı Kanun, 2016; Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik, 2019).

Ulusal literatür, bu politika iradesinin kurum düzeyine yansımasında bazı engellerin bulunduğunu göstermektedir. Açıkgöz'ün (2026) görüştüğü kamu, özel ve üniversite hastanesi yöneticileri, YZ entegrasyonunun önündeki başlıca riskler olarak veri güvenliği ve mahremiyet, mevzuata uyum, altyapı eksikliği ve çalışan direnci gibi sorunları tanımlamıştır. Bu tablo, Türkiye'de sorunun veri eksikliğinden çok, mevcut verinin yönetsel karara dönüştürülmesine yönelik kurumsal kapasite ve yönetişim eksikliği olduğunu düşündürmektedir.

6.2. Kurumsal Uygulama Açısından Türkiye'ye Özgü Fırsat ve Sınırlılıklar

Türkiye'de YZ destekli yönetsel kararların imkânlarını belirleyen etkenlerden biri, kamu hastanelerinin örgütlenme biçimidir. 2017 yılında 694 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu kapatılmış ve görevleri Sağlık Bakanlığı bünyesinde oluşturulan Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğüne devredilmiştir (694 sayılı KHK, 2017). Bu merkezî yapı, ulusal ölçekte standart veri ve tek elden geliştirilip yaygınlaştırılabilecek modeller açısından önemli bir ölçek avantajı sunmaktadır. Buna karşılık hastane yöneticisinin yönetsel özerkliği sınırlı kalabildiğinden, modelin ürettiği bir önerinin hastane düzeyinde uygulanabilmesi her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu durum, özellikle personel ve satın alma kararlarında belirginleşmektedir. Kamu hastanelerinde kadro ve atama kararlarının büyük ölçüde merkezî düzeyde verilmesi nedeniyle, YZ'nin ürettiği iş yükü tahmini hastane düzeyinde personel sayısını değiştirmekten çok mevcut personelin vardiyalar ve birimler arasında dağıtılmasında kullanılabilecektir. Benzer şekilde mal ve hizmet alımları Kamu İhale Kanunu'nun usul kurallarına bağlı olduğundan (4734 sayılı Kanun, 2002), bir talep tahmini doğrudan sipariş kararına dönüşememekte; ancak ihale planlamasının zamanlamasını ve miktarını belirlemede yöneticiye destek olabilmektedir. Veri boyutunda ise hastanelerin farklı firmalara ait hastane bilgi yönetim sistemleri kullanması, ulusal sistemlere gönderilen veriler standartlaşmış olsa da stok, vardiya ve ameliyathane gibi operasyonel verilerin kurumlar arasında karşılaştırılmasını ve modellerin bir hastaneden diğerine aktarılmasını güçleştirmektedir.

Bu değerlendirmeler, Türkiye bağlamında YZ yatırımlarının yalnızca teknik altyapı açısından değil, modelin önerisini uygulayacak yetkinin hangi yönetim kademesinde bulunduğu açısından da planlanması gerektiğini göstermektedir. Kamu yönetiminde kararların gerekçelendirilebilir ve denetlenebilir olması beklentisi de açıklanabilirliği Türkiye'deki sağlık kurumları için ayrıca önemli kılmaktadır. Bu alt bölümdeki değerlendirmeler, mevzuata ve sağlık yönetimi alanındaki gözlemlere dayanan analitik çıkarımlar olup ampirik olarak sınanması gereken konulardır.

6.3. Geleceğe Yönelik Eğilimler

Gelecek dönemde üç eğilimin sağlık yönetimini belirleyeceği öngörülebilir. Birincisi, büyük

dil modelleri gibi üretken YZ araçlarının yazışma, raporlama ve toplantı notu hazırlama gibi yönetsel işlerde yaygınlaşmasıdır. DSÖ, bu modellerin sağlıkta kullanımına ilişkin ayrı bir rehber yayımlayarak bu araçların doğru görünen ancak hatalı çıktılar üretebileceğine ve otomasyon yanlılığını artırabileceğine dikkat çekmiştir (WHO, 2024). İkincisi, tek tek kararları destekleyen araçlardan, hastanenin bütün kapasitesini anlık olarak izleyen ve öngören bütünleşik yönetim panellerine geçiştir. Üçüncüsü ise düzenleyici çerçevenin sertleşmesidir; işe alım, görev dağılımı ve performans izleme gibi çalışma ilişkilerine dair kararlarda kullanılan YZ sistemleri, AB düzenlemesinde yüksek riskli sistemler arasında sayılmaktadır (European Parliament and Council, 2024). Ek III'te sayılan bu tür bağımsız yüksek riskli sistemlere ilişkin yükümlülüklerin (Bölüm III, Kısım 1–3) uygulanma tarihi, 2026/1744 sayılı AB Tüzüğü ile 2024/1689 sayılı Tüzüğün 113. maddesinde yapılan değişiklik sonucunda 2 Aralık 2027'ye ertelenmiştir; tıbbi cihazlar gibi ürün mevzuatı kapsamındaki (Ek I) yüksek riskli sistemler için bu tarih 2 Ağustos 2028'dir. Erteleme, söz konusu sistemleri yüksek riskli sistem olmaktan çıkarmamıştır (European Parliament and Council, 2026). Bu durum, nöbet ve personel planlamasında YZ kullanan sağlık kurumlarının ileride daha sıkı belgeleme ve insan gözetimi yükümlülükleriyle karşılaşabileceğine işaret etmektedir.

7. TARTIŞMA

7.1. Kanıtın Niteliği: Tahmin Başarısından Kurumsal Etkiye

Bu çalışmada incelenen literatür, YZ'nin sağlık yönetimine katkısının kararın türüne göre belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Bu çalışmada incelenen kaynaklar kapsamında en belirgin kanıtlar iş yükü tahmini, yatış öngörüsü, ameliyathane planlaması ve usulsüz ödeme taleplerinin tespiti gibi yarı yapılandırılmış ve tekrar eden operasyonel kararlarda yoğunlaşmaktadır. Stratejik kararlarda ise YZ'nin rolü, bilgi zeminini güçlendirmekle sınırlı kalmaktadır. Bu bulgu, Simon'ın (1997) sınırlı rasyonellik yaklaşımıyla uyumludur: YZ, yöneticinin bilgi işleme sınırını genişletmekte; ancak değer yargısı ve paydaş uzlaşısı gerektiren kararlarda insanın yerini alamamaktadır.

Ancak bu kanıtların hangi düzeye ait olduğu ayrıca değerlendirilmelidir. Bir modelin teknik tahmin başarısı, modelin yönetsel karar sürecinde fiilen kullanılması ve bu kullanımın kurumsal sonuçlara etkisi birbirinden farklı düzeylerdir. Tablo 3, literatürü bu üç düzeye göre kanıt odağı bakımından değerlendirmektedir. Tablo, her çalışmanın ilgili düzeyde doğrudan ampirik kanıt ürettiği anlamına gelmez; derleme ve nitel çalışmalar, o düzeydeki kanıt durumunu ya da boşluğu belgeledikleri için ilgili satırda yer almaktadır.

Tablo 3. YZ destekli yönetsel karar süreçlerine ilişkin literatürün kanıt odağına göre değerlendirilmesi

Kanıt odağı	Neyi gösterir?	İlgili çalışmalar ve çalışma türü	Değerlendirme
1. Teknik tahmin performansı	Modelin geçmiş verilerde doğru tahmin üretip üretmediğini	Hong vd. (2018; geriye dönük model geliştirme çalışması); McMahon vd. (2025; tek merkezli, geriye dönük yöntemsel çalışma); Bellini vd. (2024; sistematik derleme); Curtis vd. (2025; derleme)	Doğrudan ampirik kanıtın büyük bölümü bu düzeydedir; çalışmalar çoğunlukla geriye dönük verilere dayanmaktadır.

Kanıt odağı	Neyi gösterir?	İlgili çalışmalar ve çalışma türü	Değerlendirme
2. Yönetsel karar sürecinde kullanım	Modelin gerçek kararlarda kullanılıp kullanılmadığını ve nasıl kullanıldığını	Gjini ve Fetahi (2025; sistematik derleme); Johnson ve Ebakivie (2026; sistematik derleme); Açıkgöz (2026; nitel araştırma, yönetici görüşleri)	Gerçek kullanımı doğrudan ölçen çalışmalar sınırlıdır; derlemeler uygulama açığını belgelemekte, ulusal veriler yönetici beklentisi ve algısı düzeyinde kalmaktadır.
3. Kurumsal sonuçlara etki	Kullanımın maliyet, hizmet kalitesi, hakkaniyet ve hasta güvenliği üzerindeki etkisini	Obermeyer vd. (2019; fiilen kullanılan bir algoritmanın ikincil veriyle analizi)	İncelenen kaynaklar arasında bu düzeydeki en belirgin kanıt, olumlu bir sonuçtan çok, fiilen kullanılan bir algoritmanın yol açtığı hakkaniyet sorununu belgelemektedir.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur. Tablo, çalışmaların kanıt odağını gösterir; her çalışmanın ilgili düzeyde doğrudan ampirik kanıt ürettiği anlamına gelmez.

Tablo 3, doğrudan ampirik kanıtın büyük bölümünün birinci düzeyde kaldığını göstermektedir. İncelenen çalışmaların önemli bir kısmı tek merkezli ve geriye dönük verilere dayanmakta; modellerin gerçek karar süreçlerine eklendiğinde yönetsel sonuçları nasıl değiştirdiğini gösteren çalışmalar sınırlı kalmaktadır (Gjini ve Fetahi, 2025; Johnson ve Ebakivie, 2026). Dikkat çekici olan, incelenen kaynaklar arasında üçüncü düzeydeki en belirgin kanıtın olumlu bir sonuçtan çok, fiilen kullanılan bir algoritmanın yol açtığı hakkaniyet sorununa ilişkin olmasıdır (Obermeyer vd., 2019). Dolayısıyla YZ'nin yönetsel faydasına ilişkin iddiaların, kanıtın düzeyiyle orantılı biçimde ve temkinli bir dille ifade edilmesi gerekmektedir. Bu tablo, YZ'nin teknik bir yatırım olarak değil, Açıkgöz'ün (2026) ifade ettiği gibi sosyo-teknik bir dönüşüm süreci olarak ele alınması gerektiğini de doğrulamaktadır.

7.2. Önerilen Çerçeve: YZ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi

İncelenen literatür ve Türkiye bağlamına ilişkin değerlendirme, üç önemli boşluğa işaret etmektedir: teknik tahmin başarısı ile kurumsal sonuç arasındaki açıklık, risklerin birbirini besleyen yapısı ve YZ'nin ürettiği öneri ile o öneriyi uygulama yetkisi arasındaki ayrım. Bu çalışmada, söz konusu boşlukları ele almak üzere Tablo 1'de sunulan karar türü sınıflandırmasından hareketle, yönetsel denetim ve kurumsal sonuç boyutlarını bütünleştiren "YZ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi Çerçevesi" geliştirilmiş ve Tablo 4'te sunulmuştur. Çerçeve dört unsuru bir araya getirmektedir: yönetsel kararın niteliği (Gorry ve Scott Morton, 1971), YZ'nin karar sürecindeki rolü (Raisch ve Krakowski, 2021; Shrestha vd., 2019), yönetsel denetim ve sorumluluk gerekleri (Amann vd., 2020; Reddy vd., 2020; WHO, 2021) ve beklenen kurumsal sonuçlar. Çerçevenin temel mantığı, YZ'nin rolü ile denetim düzeyinin kararın niteliğine göre birlikte ayarlanması gerektiğidir.

Tablo 4. YZ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi Çerçevesi

Kararın niteliği	**YZ'nin rolü**	**Yönetsel denetim ve sorumluluk**	**Önerilen kurumsal sonuç ölçütleri (örnek göstergeler)**
Yapılandırılmış (ör. stok yenileme)	Otomasyon	Kural tabanlı izleme; istisna durumlarında insan müdahalesi; işlem kayıtlarının tutulması	Verimlilik: işlem süresi, maliyet, hata oranı
Yarı yapılandırılmış (ör. nöbet listesi, yatak planlaması)	Tahmin ve öneri	Kararın risk düzeyine göre insan onayı; önerinin dayandığı temel değişkenlerin açıklanması; kritik kararların ve modelden sapmaların kayıt altına alınması	Verimlilik ve hizmet kalitesi: bekleme süresi, kapasite kullanımı, iş yükü dengesi
Yapılandırılmamış (ör. yeni hizmet birimi)	Senaryo desteği	Kararın tümüyle insanda kalması; varsayımların belgelenmesi; paydaş katılımı ve kurul düzeyinde hesap verebilirlik	Hakkaniyet ve sürdürülebilirlik: erişim, mali denge, uzun dönemli etkiler
Tüm karar türleri için ortak katman	Tüm roller	Veri yönetişimi, siber güvenlik, etik denetim ve düzenli performans izleme	Güven ve kurumsal meşruiyet

Kaynak: Gorry ve Scott Morton (1971), Shrestha vd. (2019), Raisch ve Krakowski (2021), Amann vd. (2020), Reddy vd. (2020) ve WHO (2021) esas alınarak yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Çerçeve kavramsal bir sentezdir; ampirik olarak doğrulanmamıştır. Sonuç ölçütleri örnek gösterge niteliğindedir; kurumun önceliklerine ve veri olanaklarına göre uyarlanabilir.

Çerçeve, ileride ampirik olarak sınanabilecek üç önerme içermektedir:

1. **Önerme 1:** Kararın yapılandırılmışlık düzeyi azaldıkça YZ'nin uygun rolünün otomasyondan senaryo desteğine kayması, gereken insan gözetimi ve açıklanabilirlik düzeyinin ise artması beklenir.
2. **Önerme 2:** YZ'nin rolü ve denetim düzeyi karar türüyle uyumlu olduğunda, YZ'den beklenen kurumsal faydaların ortaya çıkma olasılığı artar. Uyumsuzluk, örneğin yüksek riskli ve yarı yapılandırılmış bir kararın insan onayı olmadan otomasyona bırakılması, otomasyon yanlılığı ve hakkaniyet risklerini artırabilir.
3. **Önerme 3:** Bir modelin teknik tahmin başarısının kurumsal sonuca dönüşme olasılığı, model önerisi o öneriyi uygulama yetkisine sahip bir yönetim kademesiyle eşleştiğinde artar.

Üçüncü önerme, çerçevenin temel gerekçesini de yansıtmaktadır: YZ'nin bir öneri üretebilmesi, sağlık yöneticisinin o öneriyi uygulama yetkisine sahip olduğu anlamına gelmez. Türkiye bağlamında ele alınan merkezî örgütlenme, kadro ve atama yetkileri ile ihale kuralları (bkz. 6.2), bu ayrımın uygulamadaki karşılığını göstermektedir.

Bu önermeler, farklı karar türlerinde YZ kullanan hastanelerin karşılaştırıldığı çok merkezli çalışmalarla ya da yöneticilerin modelden saptığı kararların izlendiği ileriye dönük araştırmalarla sınanabilir. Bu nedenle önerilen çerçeve, ampirik olarak doğrulanmış bir model olarak değil, ileride yapılacak araştırmalara kuramsal temel sunan kavramsal bir sentez olarak değerlendirilmelidir.

Çerçevenin denetim ve sorumluluk unsuru, Obermeyer vd. (2019) tarafından belgelenen önyargının teknik bir hatadan çok yönetsel bir tercihten, yani hedef değişken olarak sağlık ihtiyacı yerine harcamanın seçilmesinden kaynaklandığını hatırlatmaktadır. Benzer şekilde otomasyon yanlılığı ve algoritmaya karşı direnç, modelin kendisinden çok onu kullanan insanın tutumuyla ilgilidir. Bu nedenle Shrestha vd. (2019) ile Raisch ve Krakowski'nin (2021) vurguladığı gibi asıl yönetsel soru, YZ'nin kullanılıp kullanılmayacağı değil; hangi kararın hangi ölçüde algoritmaya bırakılacağı ve nihai sorumluluğun kimde kalacağıdır.

7.3. Sağlık Yöneticisi İçin Çıkarımlar

Bu tartışma, sağlık yöneticisinin yetkinlik profilinin de değişmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. YZ destekli bir ortamda yöneticiden beklenen, modeli geliştirmek değil; modelin hangi veriye dayandığını, neyi ölçtüğünü, hangi gruplar için yanıltıcı olabileceğini sorgulayabilmesidir. Bu da sağlık yönetimi eğitiminde veri okuryazarlığı, YZ etiği ve kanıta dayalı yönetim konularının daha fazla yer almasını gerektirmektedir.

7.4. Sınırlılıklar

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Anlatısal derleme yaklaşımı, sistematik derlemelerdeki gibi çalışmaların tamamını kapsama ve nicel bir sentez yapma iddiası taşımamaktadır; bu nedenle kaynak seçiminde yazarların değerlendirmesinden kaynaklanan bir seçim yanlılığı ihtimali bulunmaktadır. Ayrıca alanın hızla değişmesi, bazı bulguların kısa sürede güncelliğini yitirebileceği anlamına gelmektedir. Türkiye'de yönetsel süreçlere odaklanan ampirik çalışmaların sayısının az olması da ulusal değerlendirmelerin sınırlı sayıda kaynağa dayanmasına yol açmıştır. Son olarak önerilen çerçeve kavramsal düzeyde kalmakta olup geçerliliğinin ampirik çalışmalarla sınanması gerekmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sağlık hizmetlerinde YZ destekli yönetsel karar verme süreçleri güncel ulusal ve uluslararası literatür ışığında incelenmiştir. Çalışmanın temel sonucu, YZ'nin sağlık yöneticilerinin yerini alan bir teknoloji değil; onların karar verme kapasitesini güçlendiren stratejik bir karar destek mekanizması olduğudur. Çalışmanın özgün ürünü, bu tezi somutlaştırmak üzere geliştirilen ve kararın niteliğini, YZ'nin rolünü, yönetsel denetimi ve kurumsal sonuçları birlikte ele alan YZ Destekli Yönetsel Karar Yönetişimi Çerçevesi'dir (Tablo 4); çerçeve, ileride sınanabilecek önermeleriyle sonraki ampirik araştırmalara bir başlangıç noktası sunmaktadır. Stratejik planlama, insan kaynakları, kapasite ve hasta akışı, finansal yönetim ve tedarik zinciri alanlarında YZ, yöneticiye daha geniş ve daha güncel bir bilgi zemini sunabilmektedir; ancak bu katkının kurumsal sonuçlara dönüştüğünü gösteren kanıtlar henüz sınırlıdır. Bununla birlikte veri kalitesi, algoritmik önyargı, açıklanabilirlik, otomasyon yanlılığı, veri güvenliği ve etik yönetişim sorunları çözümlenmeden bu potansiyelin sürdürülebilir bir faydaya dönüşmesi mümkün görünmemektedir.

Türkiye, güçlü dijital sağlık altyapısı ve yeni Yapay Zekâ Eylem Planı ile bu alanda önemli bir fırsat penceresine sahiptir. Ancak sınırlı ulusal literatüre dayanan değerlendirmeler, bu fırsatın kurum düzeyinde karşılık bulmasının üç koşula bağlı olduğunu düşündürmektedir: veriyi yönetsel karara dönüştürebilecek analitik kapasite, açık sorumluluk tanımları ve YZ'yi sorgulayabilen yöneticiler. Bu doğrultuda geliştirilen öneriler, sorumlu aktörlerle birlikte Tablo 5'te sunulmuştur. Bu öneriler, önerilen çerçevenin denetim ve sorumluluk unsurunu kurum ve politika düzeyinde somutlaştırmaktadır.

Tablo 5. Yapay zekâ destekli yönetsel karar süreçlerinin güçlendirilmesine yönelik öneriler

Öneri	Sorumlu aktör(ler)	İlgili risk alanı
Hastanelerde veri tanımlarının ve kayıt standartlarının birleştirilmesi; tekrarlı veri girişinin azaltılması	Sağlık Bakanlığı, hastane yönetimleri	Veri kalitesi
YZ destekli her yönetsel karar aracı için kullanım öncesinde hedef değişkenin ve farklı gruplar üzerindeki etkinin değerlendirilmesi	Hastane yönetimleri, kalite birimleri	Algoritmik önyargı
Personeli, ödemeyi veya hizmete erişimi etkileyen kararlarda gerekçesi açıklanabilen modellerin tercih edilmesi	Hastane yönetimleri, satın alma birimleri	Açıklanabilirlik
Kritik kararlarda insan onayının zorunlu tutulması ve yöneticinin modelden farklı karar verdiği durumların kayıt altına alınması	Kurum üst yönetimi	Otomasyon yanlılığı, hesap verebilirlik
YZ sistemlerinin siber güvenlik değerlendirmesine ve süreklilik planlarına dâhil edilmesi	Sağlık Bakanlığı, kurum bilgi işlem birimleri	Veri güvenliği
Kurum düzeyinde YZ uygulamalarını izleyecek çok disiplinli bir yönetişim kurulunun oluşturulması	Hastane yönetimleri, Sağlık Bakanlığı	Etik yönetişim
Sağlık yönetimi lisans ve lisansüstü programlarında veri okuryazarlığı ve YZ etiği derslerinin yaygınlaştırılması; görevdeki yöneticilere hizmet içi eğitim verilmesi	Üniversiteler, Sağlık Bakanlığı	Dijital yetkinlik
Türkiye'de YZ destekli yönetsel kararların kurumsal sonuçlarını ölçen çok merkezli ve ileriye dönük araştırmaların desteklenmesi	Araştırmacılar, araştırma fonları	Kanıt eksikliği

Kaynak: Çalışmanın bulguları esas alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Sonuç olarak, sağlık kurumlarında YZ'den beklenen fayda, teknolojinin kendisinden çok onu çevreleyen yönetim anlayışına bağlıdır. Güçlü veri yönetişimi, etik ilkeler, dijital yetkinlikler ve insan odaklı bir yönetim yaklaşımı birlikte geliştirildiğinde YZ, sağlık yöneticisinin elinde daha isabetli, daha hızlı ve daha adil kararların aracı hâline gelebilecektir.

KAYNAKÇA

4734 sayılı Kanun. (2002, 22 Ocak). Kamu İhale Kanunu. *Resmî Gazete* (Sayı: 24648). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2002/01/20020122.htm

6698 sayılı Kanun. (2016, 7 Nisan). Kişisel Verilerin Korunması Kanunu. *Resmî Gazete* (Sayı: 29677). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/04/20160407.htm

694 sayılı KHK. (2017, 25 Ağustos). Olağanüstü Hal Kapsamında Bazı Düzenlemeler Yapılması Hakkında Kanun Hükmünde Kararname. *Resmî Gazete* (Sayı: 30165). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/08/20170825.htm

Açıkgöz, O. (2026). Sağlık kurumlarında yapay zekâ entegrasyonu için yönetici perspektifinden bir yol haritası: Nitel bir araştırma. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi, 26*(2), 1379–1396. https://doi.org/10.11616/asbi.1910138

Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D., & Madai, V. I. (2020). Explainability for artificial intelligence in healthcare: A multidisciplinary perspective. *BMC Medical Informatics and Decision Making, 20*, Article 310. https://doi.org/10.1186/s12911-020-01332-6

Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA—A scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review, 4*, Article 5.

https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8
Bellini, V., Russo, M., Domenichetti, T., Panizzi, M., Allai, S., & Bignami, E. G. (2024). Artificial intelligence in operating room management. *Journal of Medical Systems, 48*(1), Article 19. https://doi.org/10.1007/s10916-024-02038-2
Bhagat, S. V., & Kanyal, D. (2024). Navigating the future: The transformative impact of artificial intelligence on hospital management—A comprehensive review. *Cureus, 16*(2), e54518. https://doi.org/10.7759/cureus.54518
Cumhurbaşkanlığı. (2021, 20 Ağustos). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025) ile ilgili 2021/18 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi. *Resmî Gazete* (Sayı: 31574). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/08/20210820.htm
Cumhurbaşkanlığı. (2026, 18 Ağustos). Türkiye Yapay Zekâ Eylem Planı (2026–2030) ile ilgili 2026/9 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi. *Resmî Gazete* (Sayı: 33344). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/08/20260818.htm
Curtis, E. D., Billion-Polak, P., Khoshgoftaar, T. M., & Furht, B. (2025). A review of distinct machine learning classifiers for healthcare fraud detection. *Journal of Big Data, 12*, Article 238. https://doi.org/10.1186/s40537-025-01295-3
Davenport, T., & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal, 6*(2), 94–98. https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94
Dietvorst, B. J., Simmons, J. P., & Massey, C. (2015). Algorithm aversion: People erroneously avoid algorithms after seeing them err. *Journal of Experimental Psychology: General, 144*(1), 114–126. https://doi.org/10.1037/xge0000033
European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*, L series. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj
European Parliament and Council. (2026). Regulation (EU) 2026/1744 of 8 July 2026 amending Regulations (EU) 2024/1689, (EU) 2018/1139 and (EU) 2023/1230 as regards the simplification of the implementation of harmonised rules on artificial intelligence (Digital Omnibus on AI). *Official Journal of the European Union*, L 2026/1744, 24.7.2026. http://data.europa.eu/eli/reg/2026/1744/oj
Gjini, I., & Fetahi, B. (2025). Applications of artificial intelligence in healthcare management: A systematic review of operational efficiency and challenges. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences, 13*(4), 199–202. https://doi.org/10.3889/oamjms.2025.12096
Goddard, K., Roudsari, A., & Wyatt, J. C. (2012). Automation bias: A systematic review of frequency, effect mediators, and mitigators. *Journal of the American Medical Informatics Association, 19*(1), 121–127. https://doi.org/10.1136/amiajnl-2011-000089
Gorry, G. A., & Scott Morton, M. S. (1971). A framework for management information systems. *Sloan Management Review, 13*(1), 55–70.
Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: Secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine, 5*(3), 101–117. https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6
Hong, W. S., Haimovich, A. D., & Taylor, R. A. (2018). Predicting hospital admission at emergency department triage using machine learning. *PLoS ONE, 13*(7), e0201016. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201016
Hukuki Haber. (2026, 18 Ağustos). *Türkiye'nin yapay zekâ vizyonu Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girdi*. https://www.hukukihaber.net/turkiyenin-yapay-zeka-vizyonu-resmi-gazetede-yayimlanarak-yururluge-girdi
Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in

organizational decision making. *Business Horizons, 61*(4), 577–586. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007

Johnson, L. L., & Ebakivie, O. (2026). Triple A: How analytics, AI, and algorithms are improving inventory management in healthcare. *Logistics, 10*(5), Article 103. https://doi.org/10.3390/logistics10050103

Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik. (2019, 21 Haziran). *Resmî Gazete* (Sayı: 30808). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/06/20190621.htm

McMahon, M., Plate, S., Herz, T., Brenner, G., Kleinknecht-Dolf, M., & Krauthammer, M. (2025). Development of a data-based method for predicting nursing workload in an acute care hospital: Methodological study. *Journal of Medical Internet Research, 27*, e66667. https://doi.org/10.2196/66667

Neprash, H. T., McGlave, C. C., Cross, D. A., Virnig, B. A., Puskarich, M. A., Huling, J. D., Rozenshtein, A. Z., & Nikpay, S. S. (2022). Trends in ransomware attacks on US hospitals, clinics, and other health care delivery organizations, 2016–2021. *JAMA Health Forum, 3*(12), e224873. https://doi.org/10.1001/jamahealthforum.2022.4873

Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science, 366*(6464), 447–453. https://doi.org/10.1126/science.aax2342

Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. *Academy of Management Review, 46*(1), 192–210. https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

Reddy, S., Allan, S., Coghlan, S., & Cooper, P. (2020). A governance model for the application of AI in health care. *Journal of the American Medical Informatics Association, 27*(3), 491–497. https://doi.org/10.1093/jamia/ocz192

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2026). *Türkiye Yapay Zekâ Eylem Planı (2026–2030)*. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. https://www.sanayi.gov.tr/yapayzekaeylemplani

Shrestha, Y. R., Ben-Menahem, S. M., & von Krogh, G. (2019). Organizational decision-making structures in the age of artificial intelligence. *California Management Review, 61*(4), 66–83. https://doi.org/10.1177/0008125619862257

Simon, H. A. (1997). *Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations* (4th ed.). Free Press.

Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine, 25*(1), 44–56. https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7

World Health Organization. (2021). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200

World Health Organization. (2024). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: Guidance on large multi-modal models*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240084759

World Health Organization. (2025). *Health workforce*. Erişim tarihi: 18 Ekim 2026, https://www.who.int/health-topics/health-workforce

EK 1. KAYNAK–KATEGORİ EŞLEŞTİRMESİ

Kategori	Sayı	Kaynaklar
Yönetsel karar alanlarına ilişkin ampirik çalışma ve derlemeler	8	Açıkgöz (2026); Bellini vd. (2024); Bhagat ve Kanyal (2024); Curtis vd. (2025); Gjini ve Fetahi (2025); Hong vd. (2018); Johnson ve Ebakivie (2026); McMahon vd. (2025)
Risk alanlarına ilişkin çalışmalar	6	Amann vd. (2020); Dietvorst vd. (2015); Goddard vd. (2012); Neprash vd. (2022); Obermeyer vd. (2019); Reddy vd. (2020)
Politika ve mevzuat belgeleri	11	4734 sayılı Kanun (2002); 6698 sayılı Kanun (2016); 694 sayılı KHK (2017); Cumhurbaşkanlığı (2021); Cumhurbaşkanlığı (2026); European Parliament and Council (2024); European Parliament and Council (2026); Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik (2019); Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2026); WHO (2021); WHO (2024)
Kuramsal eserler	5	Gorry ve Scott Morton (1971); Jarrahi (2018); Raisch ve Krakowski (2021); Shrestha vd. (2019); Simon (1997)
Yöntem kaynakları	2	Baethge vd. (2019); Green vd. (2006)
Bağlam kaynakları	4	Davenport ve Kalakota (2019); Hukuki Haber (2026); Topol (2019); WHO (2025)
Toplam	36	

Not: Her kaynak, metindeki birincil kullanım amacına göre yalnızca bir kategoride gösterilmiştir.

ISIL İŞLEMİN EKLEMELİ İMALATLA ÜRETİLEN Ti6AL4V ALAŞIMININ 650 °C'DEKİ YÜKSEK SICAKLIK SÜRÜNME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Burak ÇEPER
Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gaziantep 27310, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1624-5454
Mehmet Masum TÜNÇAY
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Istanbul 34854, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1624-5454

ÖZET
Ti6Al4V alaşımı, yüksek özgül dayanımı, düşük yoğunluğu ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle özellikle havacılık ve yüksek sıcaklık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda lazer toz yatağında ergitme (LPBF) yöntemi, karmaşık geometrili Ti6Al4V bileşenlerinin üretiminde önemli bir alternatif hâline gelmiştir. Bununla birlikte, LPBF yöntemiyle üretilen alaşımların yüksek sıcaklıklardaki sürünme davranışları, üretim sırasında oluşan mikroyapısal özelliklerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu çalışmada, LPBF yöntemiyle üretilen Ti6Al4V alaşımının sürünme davranışı üzerine ısıl işlemin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, üretildiği hâlde (AM-As Built) ve ısıl işlem uygulanmış (AM-HT) numunelerin 650 °C sıcaklıkta ve 75 MPa sabit gerilme altında atmosferik ortamda gerçekleştirilen sürünme deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, AM-As Built numunesinin minimum sürünme hızı 4.86×10^{-6} s^{-1} olarak belirlenirken, AM-HT numunesinde bu değer 5.02×10^{-7} s^{-1}seviyesine gerilemiştir. Böylece ısıl işlem sonrasında minimum sürünme hızında yaklaşık %89.7 oranında azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, AM-As Built numunesinde 15 saat olarak belirlenen sürünme kopma süresi, AM-HT numunesinde 106 saate yükselerek yaklaşık 7.1 kat artmıştır. Sürünme direncindeki bu belirgin iyileşmenin, ısıl işlem sonucunda iğnemsi α′ martenzitik yapının daha kaba lamelli α+β mikroyapısına dönüşmesiyle ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular, LPBF yöntemiyle üretilen Ti6Al4V alaşımına uygulanan ısıl işlemin, incelenen deney koşulunda minimum sürünme hızını azaltarak sürünme kopma ömrünü önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, Eklemeli İmalat, Lazer Toz Yatağında Ergitme, Isıl İşlem, Yüksek Sıcaklık Sürünmesi.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE HIGH-TEMPERATURE CREEP BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED TI6AL4V ALLOY AT 650 °C

ABSTRACT
Ti6Al4V alloy is widely used in aerospace and high-temperature applications due to its high specific strength, low density, and excellent mechanical properties. In recent years, laser powder bed fusion (LPBF) has emerged as an important alternative for manufacturing Ti6Al4V components with complex geometries. However, the high-temperature creep behavior of LPBF-produced alloys is strongly influenced by the microstructural characteristics developed during manufacturing. In this study, the effect of heat treatment on the creep behavior of LPBF-produced Ti6Al4V alloy was investigated. For this purpose, the creep test results of as-built

(AM-As Built) and heat-treated (AM-HT) specimens were comparatively evaluated at 650 °C under a constant applied stress of 75 MPa in air. The experimental results revealed that the minimum creep rate decreased from 4.86×10^{-6} s^{-1} for the AM-As Built specimen to 5.02×10^{-6} s^{-1} for the AM-HT specimen, corresponding to a reduction of approximately 89.7% following heat treatment. Furthermore, the creep rupture time increased from 15 h for the AM-As Built specimen to 106 h for the AM-HT specimen, representing an approximately 7.1-fold increase in rupture life. This significant improvement in creep resistance may be associated with the heat-treatment-induced transformation of the fine acicular α′ martensitic microstructure into a coarser lamellar α+β microstructure. Overall, the findings demonstrate that heat treatment considerably reduces the minimum creep rate and extends the creep rupture life of LPBF-produced Ti6Al4V alloy under the investigated experimental condition.
Keywords: Ti6Al4V, Additive Manufacturing, Laser Powder Bed Fusion, Heat Treatment, High-Temperature Creep.

1. INTRODUCTION

Titanium alloys are widely employed in aerospace, biomedical, and high-performance engineering applications due to their high specific strength, excellent corrosion resistance, and favorable mechanical properties. Among these alloys, Ti6Al4V has attracted considerable attention because of its combination of relatively low density and high mechanical strength. In recent years, additive manufacturing technologies, particularly laser powder bed fusion (LPBF), have provided significant advantages in producing complex Ti6Al4V components with reduced material waste and improved design flexibility (Ghio and Cerri, 2022).

The LPBF process involves the successive melting and solidification of metallic powder layers using a high-energy laser beam. The rapid cooling rates and repeated thermal cycles associated with this manufacturing process significantly influence the resulting microstructure. In particular, LPBF-produced Ti6Al4V generally exhibits a fine acicular α′ martensitic microstructure within prior-β grains. Although this microstructure can provide high strength and hardness, its mechanical response may change under elevated-temperature loading conditions. Therefore, post-processing heat treatments are frequently employed to modify the microstructure and improve the mechanical performance of additively manufactured Ti6Al4V components (Ghio and Cerri, 2022).

Heat treatment can promote microstructural transformations and the development of more stable α+β microstructures. The resulting changes in phase morphology, lamellar thickness, and phase boundaries may influence the deformation behavior of Ti6Al4V at elevated temperatures. Previous investigations have demonstrated that creep behavior is sensitive to the microstructural condition and thermal history of additively manufactured titanium alloys. Paoletti et al. (2022) investigated the influence of post-processing heat treatments on the creep response of additively manufactured Ti6Al4V at 650 °C and reported that high-temperature annealing could improve creep resistance under the investigated conditions. These findings highlight the importance of controlling the initial microstructure when evaluating the high-temperature performance of additively manufactured Ti6Al4V.

Despite increasing interest in the mechanical properties of LPBF-produced titanium alloys, understanding the effect of heat treatment on time-dependent deformation remains important for components exposed to sustained mechanical loads at elevated temperatures. In this context, both the minimum creep rate and rupture time are useful parameters for evaluating the creep performance of metallic materials.

The present study aims to investigate the effect of post-processing heat treatment on the high-

temperature creep behavior of LPBF-produced Ti6Al4V alloy. For this purpose, the microstructural characteristics, minimum creep rates, and rupture times of as-built (AM-As Built) and heat-treated (AM-HT) specimens were comparatively evaluated at 650 °C under a constant applied stress of 75 MPa.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material Preparation and Heat Treatment

Gas-atomized Ti6Al4V Grade 5 powder supplied by Ermaksan Makina Inc. (Bursa, Türkiye) was used to fabricate the specimens by laser powder bed fusion (LPBF). Manufacturing was performed using an Envision LPBF system equipped with a 500 W fiber laser operating at a wavelength of 1071 nm. The processing parameters included a laser power of 320 W, a scanning speed of 1000 mm/s, a hatch spacing of 0.10 mm, a layer thickness of 30 µm, and a laser spot diameter of 85 µm. The scanning direction was rotated by 90° between successive layers. Fabrication was conducted under a high-purity argon atmosphere, with the oxygen concentration maintained between 50 and 100 ppm.

Two material conditions were investigated: as-built (AM-As Built) and heat-treated (AM-HT) Ti6Al4V. The AM-HT specimens were subjected to a two-step heat treatment using an MSE Furnace T_1500_40_450 tube furnace under an argon atmosphere. The specimens were heated to 1050 °C at a rate of 5 °C/min and held for 1 h. Subsequently, they were furnace-cooled to 700 °C at 5 °C/min and held for 30 min, followed by further furnace cooling to room temperature at the same rate under argon. This treatment, performed above the β-transus temperature of Ti6Al4V, was intended to promote the development of a lamellar α+β microstructure during subsequent cooling.

2.2. Microstructural Characterization

The microstructural characteristics of the LPBF-produced Ti6Al4V specimens in the as-built (AM-As Built) and heat-treated (AM-HT) conditions were examined using optical microscopy (OM). The specimens were prepared using conventional metallographic grinding and polishing procedures, followed by chemical etching with Kroll's reagent to reveal the microstructural features. Optical micrographs were obtained to comparatively evaluate the morphological differences between the two material conditions, particularly the microstructural changes induced by the applied heat treatment.

2.3.High-Temperature Creep Testing

Uniaxial creep tests were conducted in accordance with ASTM E139 using a Zwick Z250 testing system at TÜBİTAK UME. Cylindrical creep specimens with a gauge diameter of 6 mm and a gauge length of 25 mm were employed. The specimens were manufactured with their longitudinal axes parallel to the LPBF build direction (Z), which was also parallel to the applied loading direction.

Creep tests were performed at 650 °C under a constant applied stress of 75 MPa in air. The temperature was monitored using thermocouples positioned near the specimen gauge section. Creep strain was recorded as a function of time until rupture. The minimum creep rate was determined from the region exhibiting the lowest approximately stable creep deformation rate, while rupture time was defined as the total testing duration until specimen failure. One creep test was performed for each material condition under the investigated temperature and stress condition.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Optical Microstructural Characterization

The optical micrographs of the LPBF-produced Ti6Al4V specimens in the as-built (AM-As Built) and heat-treated (AM-HT) conditions are presented in Fig. 1. The AM-As Built specimen (Fig. 1a) exhibited a relatively fine microstructural appearance, whereas the AM-HT specimen (Fig. 1b) displayed a coarser lamellar morphology with more clearly distinguishable plate-like features. These observations indicate that the applied heat treatment resulted in a substantial modification of the initial microstructure.

The fine microstructural morphology observed in the AM-As Built condition is consistent with the rapid cooling and repeated thermal cycles characteristic of the LPBF process. Ghio and Cerri (2022) reported that LPBF-produced Ti6Al4V generally develops a fine acicular α′ martensitic microstructure due to the high solidification and cooling rates. They further emphasized that subsequent heat treatments can significantly modify the phase morphology and mechanical properties of the alloy.

In the present study, the AM-HT specimens were subjected to a two-step heat treatment consisting of heating at 1050 °C for 1 h, followed by controlled cooling to 700 °C, holding for 30 min, and subsequent furnace cooling. Since the initial treatment temperature exceeds the approximate β-transus temperature of Ti6Al4V, the treatment promotes transformation into the β phase. During subsequent cooling, the transformed β phase develops into a lamellar α+β microstructure. The coarser plate-like features observed in Fig. 1b are consistent with this transformation.

Similar microstructural evolution was reported by Spigarelli et al. (2022), who investigated additively manufactured Ti6Al4V subjected to annealing at 1050 °C. They observed the formation of a Widmanstätten-type microstructure consisting of α lamellae separated by thin β regions. The morphological features observed in the present AM-HT specimen are consistent with the general microstructural characteristics reported in their study. However, phase identification and the detailed distribution of α and β phases cannot be conclusively established from optical microscopy alone.

The observed microstructural differences provide a basis for interpreting the subsequent creep behavior. In particular, the transformation from the finer as-built microstructure toward a coarser lamellar morphology may influence the interaction of dislocations with phase boundaries and the accumulation of creep deformation at elevated temperatures.

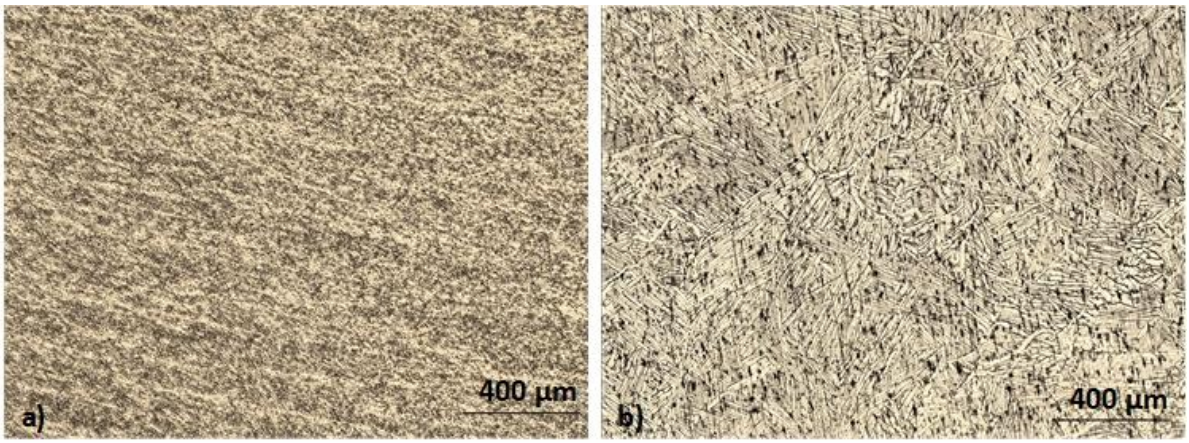


Fig. 1. Optical micrographs of LPBF-produced Ti6Al4V specimens: (a) AM-As Built and (b) AM-HT.

3.2. High-Temperature Creep Behavior

The creep strain–time curves of the AM-As Built and AM-HT specimens tested at 650 °C under an applied stress of 75 MPa are presented in Fig. 2. The corresponding minimum creep rates and rupture times are summarized in Table 1.

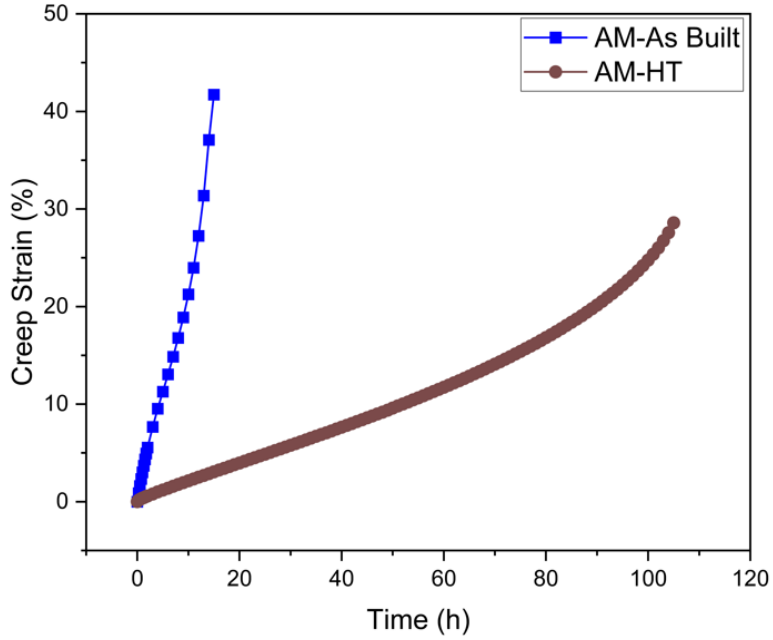


Fig. 2. Creep strain–time curves of AM-As Built and AM-HT Ti6Al4V specimens at 650 °C under 75 MPa.

Table 1. Minimum creep rates and rupture times of LPBF-produced Ti6Al4V specimens at 650 °C under 75 MPa.

Specimen	Minimum creep rate (s^{-1})	Rupture time (h)
AM-As Built	4.863×10^{-6}	15
AM-HT	5.020×10^{-7}	106

A pronounced difference in creep performance was observed between the two material conditions. The AM-As Built specimen exhibited a minimum creep rate of 4.863×10^{-6} s^{-1} and ruptured after approximately 15 h. In contrast, the AM-HT specimen showed a substantially lower minimum creep rate of 5.020×10^{-7} s^{-1} and a longer rupture time of approximately 106 h. These results correspond to an approximately 89.7% reduction in minimum creep rate and a 7.1-fold increase in rupture life following heat treatment.

The improved creep performance of the AM-HT specimen is consistent with the microstructural changes observed in Fig. 1. The transformation of the finer as-built microstructure into a coarser

lamellar structure may modify the resistance to time-dependent deformation and delay creep damage accumulation. Nevertheless, the specific contribution of individual deformation mechanisms cannot be established solely from the present creep data and optical micrographs.
Paoletti et al. (2022) investigated the effect of post-processing heat treatments on the creep behavior of additively manufactured Ti6Al4V at 650 °C. Their results demonstrated that specimens annealed at 1050 °C exhibited lower minimum creep rates than those subjected to lower-temperature heat treatments. The authors associated the improved creep resistance with the presence of extended α–β interfaces and a small fraction of Ti_3Al particles. The present results show a similar trend in terms of reduced minimum creep rate following heat treatment above the β-transus. However, the formation of Ti_3Al precipitates was not investigated in the present study and therefore cannot be considered a confirmed strengthening mechanism.
Furthermore, Spigarelli et al. (2022) investigated the creep response of additively manufactured Ti6Al4V following annealing at 1050 °C over a temperature range of 500–650 °C. Their study highlighted the influence of the Widmanstätten microstructure, characterized by α lamellae and intervening β regions, on elevated-temperature creep behavior. The comparatively lower minimum creep rate observed for the AM-HT specimen in the present work is consistent with the importance of heat-treatment-induced microstructural modification reported in the literature.
In addition to the minimum creep rate, the rupture time increased considerably following heat treatment. While minimum creep rate reflects resistance to deformation within the relatively stable creep regime, rupture life is also influenced by the initiation and accumulation of damage during the subsequent stages of creep. Therefore, the increase in rupture life should not be attributed exclusively to the reduction in minimum creep rate. The simultaneous improvement in both parameters indicates a beneficial influence of the applied heat treatment under the investigated experimental condition.
Although the results demonstrate a substantial difference between the AM-As Built and AM-HT specimens, the present comparison is limited to a single temperature and stress condition, with one test performed for each material condition. Consequently, the findings should be interpreted as condition-specific experimental observations rather than a general description of creep behavior across different loading conditions. Nevertheless, the agreement between the observed microstructural evolution, the experimental creep results, and the reported literature supports the importance of post-processing heat treatment in controlling the high-temperature performance of LPBF-produced Ti6Al4V alloy.

4. CONCLUSIONS

In this study, the effect of post-processing heat treatment on the microstructure and high-temperature creep behavior of LPBF-produced Ti6Al4V alloy was investigated at 650 °C under an applied stress of 75 MPa. Based on the experimental findings, the following conclusions were drawn:

1. Optical microscopy revealed distinct microstructural differences between the as-built and heat-treated specimens. The AM-As Built specimen exhibited a relatively fine microstructural morphology, whereas the AM-HT specimen showed a coarser lamellar structure following the two-step heat treatment at 1050 °C and 700 °C.
2. The minimum creep rate decreased from $4.863 \times 10^{-6}\ s^{-1}$ for the AM-As Built specimen to $5.020 \times 10^{-7}\ s^{-1}$ for the AM-HT specimen, corresponding to a reduction of approximately 89.7%.

3. The creep rupture time increased from approximately 15 h for the AM-As Built specimen to 106 h for the AM-HT specimen, representing an approximately 7.1-fold increase in rupture life.
4. The improved creep performance of the AM-HT specimen may be associated with the development of a coarser lamellar microstructure following heat treatment above the β-transus temperature. However, further investigations are required to clarify the underlying creep deformation and damage mechanisms.

Overall, the findings indicate that the applied heat treatment substantially improved the creep resistance and rupture life of LPBF-produced Ti6Al4V under the investigated experimental condition. Since one creep test was performed for each material condition, additional experiments are necessary to assess the reproducibility of these results.

REFERENCES

ASTM International. (2024). ASTM E139-24: Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials. ASTM International.

Ghio E, Cerri E. (2022). Additive manufacturing of AlSi10Mg and Ti6Al4V lightweight alloys via laser powder bed fusion: A review of heat treatments effects. Materials 15(6), 2047.

Paoletti C, Cabibbo M, Santecchia E, Cerri E, Spigarelli S. (2022). Effect of post-processing heat treatments on short-term creep response at 650 °C for a Ti-6Al-4V alloy produced by additive manufacturing. Metals 12(7), 1084.

Spigarelli S, Paoletti C, Cerri E, Santecchia E, Cabibbo M. (2022). Creep response of Ti–6Al–4V alloy produced by additive manufacturing: Effect of annealing at 1050 °C. Materials Science and Engineering: A 860, 144278.

GELENEKSEL İCÂZET VE MODERN DIPLOMA: SEYYID ULEMA BAĞLAMINDA İLMÎ EHLIYET VE MEŞRUIYETIN KARŞILAŞTIRMALI ANALIZI

Ayhan IŞIK
Doç. Dr., Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi, Karabük, Türkiye,
ORCID: 0000-0002-7017-2583

ÖZET
Bu çalışma, İslâm eğitim geleneğinde ilmî ehliyetin kazanılması, tanınması ve aktarılmasında önemli bir yere sahip olan icâzet sistemini, Osmanlı seyyid uleması bağlamında modern diploma anlayışıyla karşılaştırmalı olarak incelemektedir. İcâzet, yalnızca belirli bir eğitim sürecinin tamamlandığını belgeleyen bir uygulama olmayıp hocanın talebesini belirli bir ilim dalında, eserin rivayetinde veya öğretim faaliyetinde yetkin kabul etmesine dayanan şahsî bir ilmî yetkilendirme mekanizmasıdır. Bu yönüyle icâzetnâmeler, ilmî yeterliliğin yanı sıra hoca-talebe ilişkilerini, bilgi aktarım silsilelerini ve eğitim geleneğinin ahlâkî ilkelerini yansıtan tarihî kaynaklar niteliğindedir. Çalışmanın temel problemi, Osmanlı ilmiyesinde nesep aidiyeti ile ilmî ehliyetin hangi meşruiyet temellerine dayandığı ve bu iki unsurun seyyid ulemanın ilmî kimliğinde nasıl ilişkilendirilebileceğidir. Bu çerçevede seyyidlik, Ehl-i beyt mensubiyetine dayanan nesebî ve toplumsal bir statü; icâzet ise tahsil, ilmî birikim ve hoca-talebe ilişkisi üzerinden kazanılan bir yetkilendirme biçimi olarak ele alınmaktadır. Literatür incelemesi, tarihsel-karşılaştırmalı değerlendirme ve belge analizi yöntemlerine dayanan araştırmada, icâzetin kavramsal ve tarihsel gelişimi, Osmanlı ilmiye teşkilâtındaki işlevi ve seyyid ulema açısından taşıdığı anlam incelenmektedir. Ardından geleneksel icâzet ile modern diploma, ilmî otoritenin kaynağı, eğitim ve değerlendirme süreçleri, yetkilendirmenin kapsamı, ilmî silsile, kurumsal tanınma ve meslekî sonuçlar bakımından karşılaştırılmaktadır. İnceleme sonucunda, seyyidlikten kaynaklanan nesebî itibar ile icâzet aracılığıyla kazanılan ilmî ehliyetin birbirinden farklı meşruiyet alanlarını temsil ettiği; bununla birlikte söz konusu aidiyetlerin seyyid ulemanın toplumsal ve ilmî konumunda bir arada bulunabildiği değerlendirilmektedir. Ayrıca icâzet ile modern diplomanın ilmî yeterliliği belgelendirme bakımından benzer işlevler üstlenmesine rağmen, yetkilendirmenin dayandığı şahsî ve kurumsal otorite anlayışları açısından farklılaştığı sonucuna ulaşılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: İslâm Mezhepleri Tarihi, İcâzet, İcâzetnâme, Seyyid Ulema, Osmanlı İlmiyesi, İlmî Meşruiyet.

TRADITIONAL IJĀZA AND THE MODERN DIPLOMA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SCHOLARLY COMPETENCE AND LEGITIMACY IN THE CONTEXT OF OTTOMAN SAYYID SCHOLARS

ABSTRACT
This study comparatively examines the traditional ijāza system and the modern diploma system in the context of sayyid scholars within the Ottoman learned establishment, focusing on the role of the ijāza in the acquisition, recognition, and transmission of scholarly competence in the Islamic educational tradition. The ijāza was not merely a means of certifying the completion of a particular course of study; rather, it constituted a form of personal scholarly authorization through which a teacher recognized a student as qualified in a particular discipline, in the

transmission of a specific work, or in the practice of teaching. In this respect, ijāzanāmas are valuable historical sources that reflect not only scholarly competence but also teacher–student relationships, chains of scholarly transmission, and the ethical principles of the Islamic educational tradition. The central research problem concerns the foundations of legitimacy upon which genealogical affiliation and scholarly competence rested within the Ottoman learned establishment and how these two elements were related in the scholarly identities of sayyid scholars. Within this framework, sayyid status is examined as a genealogical and social standing grounded in descent from the Prophet's family (Ahl al-Bayt), whereas the ijāza is understood as a form of authorization acquired through education, scholarly attainment, and teacher–student relationships. Drawing on a review of the relevant literature, a historical-comparative approach, and document analysis, the study examines the conceptual and historical development of the ijāza, its function within the Ottoman learned establishment, and its significance for sayyid scholars. It then compares the traditional ijāza and the modern diploma in terms of the sources of scholarly authority, educational and assessment processes, the scope of authorization, chains of scholarly transmission, institutional recognition, and professional implications. The findings indicate that the genealogical prestige associated with sayyid status and the scholarly competence acquired through the ijāza represent distinct foundations of legitimacy, although these forms of affiliation could coexist in the social and scholarly standing of sayyid scholars. The study further concludes that, while the ijāza and the modern diploma perform comparable functions in certifying scholarly competence, they differ in the personal and institutional conceptions of authority upon which their respective forms of authorization are based.

Keywords: History of Islamic Sects, Ijāza, Ijāzanāma, Sayyid Scholars, Ottoman Learned Establishment, Scholarly Legitimacy.

Giriş

İslâm ilim geleneğinde bilginin üretilmesi kadar güvenilirliğinin korunması, aktarılması ve sonraki nesillere ulaştırılması da ilmî faaliyetlerin temel meselelerinden biri olmuştur. Özellikle hadis rivayetinde isnadın belirleyici konumu, bilginin yalnızca muhtevasıyla değil, onu aktaran şahısların ilmî yeterlilikleri ve aralarındaki rivayet ilişkileriyle birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmıştır. Bu anlayış çerçevesinde gelişen icâzet sistemi, zamanla hadis rivayetinin sınırlarını aşarak farklı ilim dallarında bilgi aktarımının ve ilmî ehliyetin tanınmasının önemli araçlarından biri hâline gelmiştir. İcâzet, bir hocanın talebesine belirli bir eseri rivayet etme, bir ilim dalında öğretim faaliyetinde bulunma veya sahip olduğu ilmî birikimi aktarma yetkisi vermesini ifade ederken icâzetnâme, söz konusu yetkilendirmenin yazılı belgesi olarak şekillenmiştir. Böylece icâzet geleneği, ilmî yeterliliğin belgelenmesinin yanı sıra hoca-talebe ilişkilerinin sürdürülmesi, ilmî silsilelerin korunması ve bilgi aktarımında güvenilirliğin sağlanması bakımından çok yönlü bir işlev üstlenmiştir.

İcâzet sisteminin tarihsel mahiyetini anlamak, onu modern diploma uygulamasının yalnızca önceki bir biçimi olarak değerlendirmekten daha kapsamlı bir yaklaşımı gerektirmektedir. Her iki sistem ilmî yeterliliğin tanınması ve belgelendirilmesi bakımından ortak bir işleve sahip olmakla birlikte, farklı tarihsel şartlar ve eğitim anlayışları içerisinde şekillenmiştir. Bu nedenle geleneksel icâzet ile modern diploma arasındaki ilişkinin, belgelerin biçimsel özellikleri veya eğitim süreçlerinin benzerliğiyle sınırlı tutulmadan ilmî otoritenin oluşumu, yetkilendirmenin dayanakları ve kazanılan yeterliliğin toplumsal ve kurumsal karşılığı çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Osmanlı ilmiye teşkilâtı, ilmî ehliyet ile toplumsal statü arasındaki ilişkinin incelenmesi

bakımından önemli bir tarihsel zemin sunmaktadır. Medrese tahsili, icâzet, mülâzemet ve çeşitli tayin süreçleri aracılığıyla şekillenen ilmiye kariyeri, ilmî yeterliliğin yalnızca bireysel bilgi birikimiyle değil, aynı zamanda belirli kurumsal mekanizmalarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu yapı içerisinde seyyid ulema, nesep aidiyeti ile ilmî kimliğin aynı şahısta birleşmesi bakımından dikkat çekici bir konuma sahiptir. Hz. Peygamber'in soyuna mensubiyetle ilişkilendirilen seyyidlik, Osmanlı toplumunda dinî ve toplumsal itibarın yanı sıra nakîbüleşraflık kurumu aracılığıyla belirli bir kurumsal karşılık kazanmıştır. Seyyidler arasından ilmiye mesleğine intisap edenler ise müderrislik, kadılık, müftülük, kazaskerlik ve şeyhülislâmlık gibi görevlerde bulunarak ilmî ve idarî hayatın çeşitli kademelerinde yer almışlardır.

Bu noktada seyyid ulemanın ilmî kimliğini oluşturan unsurların birbirinden ayrıştırılması önem taşımaktadır. Seyyidlik, nesep silsilesi üzerinden temellendirilen bir aidiyeti ifade ederken icâzet, hoca-talebe ilişkisi ve ilmî aktarım zinciri içerisinde kazanılan bir yetkilendirmeye karşılık gelmektedir. Her iki yapıda da silsile belirleyici bir unsur olmakla birlikte, nesep silsilesi soy mensubiyetini, ilmî silsile ise bilginin kimlerden ve hangi ilişkiler aracılığıyla aktarıldığını göstermektedir. Bu nedenle seyyid bir âlimin ilmî otoritesinin doğrudan nesebinden kaynaklandığını ileri sürmek kadar, nesep aidiyetinin onun toplumsal konumu ve ilmî çevrelerle ilişkisi üzerindeki muhtemel etkilerini bütünüyle göz ardı etmek de tarihsel gerçekliği açıklamak bakımından yetersiz kalacaktır. Seyyid ulema örneği, nesebî itibar ile ilmî ehliyetin birbirinden farklı meşruiyet temellerine dayanmasına rağmen aynı toplumsal ve kurumsal yapı içerisinde nasıl bir arada bulunabildiğinin değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır.

Bu çalışma, geleneksel icâzet sistemini Osmanlı seyyid uleması bağlamında ele alarak nesep aidiyeti, ilmî ehliyet ve otorite arasındaki ilişkiyi incelemeyi; ardından bu ilişkiyi modern diploma sisteminin kurumsal yetkilendirme anlayışıyla karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın temel problemi, seyyid ulemanın ilmî kimliğinde nesep ve ilmî silsilelerin hangi meşruiyet alanlarını temsil ettiği ve geleneksel icâzet ile modern diplomanın ilmî yeterliliği tanıma ve belgelendirme bakımından nasıl farklılaştığıdır. Bu çerçevede icâzetin kavramsal ve tarihsel gelişimi, Osmanlı ilmiye teşkilâtındaki işlevi, seyyid ulema açısından taşıdığı anlam ve modern diplomayla benzerlik ve farklılıkları birlikte değerlendirilmektedir. Böylece icâzet ile diploma arasındaki karşılaştırmanın yalnızca belge biçimleriyle sınırlı tutulmayıp bilgi, şahıs, kurum ve meşruiyet arasındaki ilişkiler üzerinden ele alınması hedeflenmektedir.

Araştırmada literatür incelemesi, tarihsel-karşılaştırmalı yöntem ve belge analizi birlikte benimsenmiştir. Bu kapsamda icâzet geleneğine ilişkin klasik ve modern kaynaklar ile Osmanlı ilmiye teşkilâtı, seyyidlik ve nakîbüleşraflık üzerine yapılan araştırmalar değerlendirilerek nesep aidiyeti, ilmî ehliyet ve kurumsal meşruiyet arasındaki ilişkiler incelenmektedir. Çalışmanın özgün kaynak boyutunu ise Osmanlı seyyid ulemasına ait bir icâzetnâmenin muhteva ve belge özellikleri bakımından tahlili oluşturmaktadır. Söz konusu belge üzerinden icâzetin düzenleniş biçimi, ilmî yetkilendirmeye ilişkin ifadeler, hoca-talebe ilişkisi, ilmî silsile ve seyyidlik unvanlarının kullanımı değerlendirilerek nesebî aidiyet ile ilmî otoritenin belgeye yansıma biçimleri araştırılmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle icâzet ve icâzetnâmenin kavramsal çerçevesi ile tarihsel gelişimi ele alınmakta, ardından Osmanlı ilmiyesinde icâzetin işlevi ve seyyid ulemanın ilmî meşruiyetle ilişkisi incelenmektedir. Özgün icâzetnâme örneğinin değerlendirilmesinden sonra geleneksel icâzet ile modern diploma, ilmî yeterliliğin tanınması, yetkilendirmenin kaynağı ve kurumsal işlevleri bakımından karşılaştırılmaktadır.

1. İcâzet ve İcâzetnâmenin Kavramsal Çerçevesi

Arapça *cevz* kökünden türeyen icâzet, sözlükte izin verme, uygun görme, geçerli sayma ve onaylama gibi anlamlara gelmektedir. İslâm ilim geleneğinde ise bir âlimin bir ilme, esere veya rivayete ilişkin aktarım yetkisini talebesine tanımasını ifade eden bir kavram olarak kullanılmıştır. İcâzetin ilmî bir yetkilendirme biçimine dönüşmesinde, bilginin güvenilirliğini onu nakleden şahıslar ve aktarım yolları üzerinden değerlendiren hadis rivayet geleneği belirleyici olmuştur. Nitekim hadis usulünde icâzet, semâ, kıraat, münâvele ve kitâbet gibi hadis tahammül yolları arasında yer almış, hocanın belirli rivayetlerin nakline izin vermesi anlamında teknik bir içerik kazanmıştır. Bununla birlikte icâzet uygulaması zamanla hadis ilminin sınırlarını aşarak fıkıh, tefsir, kıraat, ferâiz, hesap, tıp, hat ve tasavvuf gibi farklı ilim ve sanat alanlarında da benimsenmiştir. Böylece kavram, yalnızca rivayet yetkisinin aktarılmasını değil, çeşitli disiplinlerde ilmî yeterliliğin tanınmasını ve öğretim faaliyetinin belirli bir otorite tarafından onaylanmasını ifade eden daha geniş bir anlam alanına kavuşmuştur (Akpınar, 2000, s. 393).

İcâzet sisteminin mahiyetini ortaya koyabilmek için icâzet ile icâzetnâme kavramlarının birbirinden ayrılması gerekmektedir. İcâzet, ilmî aktarım veya öğretim konusunda verilen izin ve yetkilendirmeyi ifade ederken icâzetnâme, bu yetkilendirmenin yazılı olarak kayıt altına alındığı belgeyi tanımlamaktadır. Dolayısıyla icâzet, hoca ile talebe arasında kurulan ilmî ilişkinin yetkilendirme boyutunu, icâzetnâme ise söz konusu ilişkinin yazılı ve tarihsel olarak izlenebilir biçimini oluşturmaktadır. İcâzetnâmelerin içeriği ve düzenleniş biçimi ilim dallarına ve dönemlere göre farklılık göstermekle birlikte bu belgelerde belirli ortak unsurlar bulunmaktadır. Genellikle besmele, hamdele ve salvele ile başlayan metinlerde ilmin faziletine ilişkin âyet, hadis ve çeşitli ifadelerin ardından icâzet verilen kişinin adı ve ilmî vasıfları zikredilmektedir. Daha sonra yetkilendirmenin kapsamı açıklanmakta, icâzeti veren hocanın kendi hocalarına uzanan ilmî silsilesine yer verilmekte ve talebeye ilmin yayılması, ahlâkî sorumlulukların gözetilmesi ve hocaların hayırla anılması yönünde tavsiyelerde bulunulmaktadır. Belgenin tarih, imza veya mühür gibi unsurlarla tamamlanması ise ilmî yetkilendirmenin belirli bir şahıs ve zamanla ilişkilendirilmesini sağlamaktadır (Arslan, 2003, s. 291-292). Bu özellikleriyle icâzetnâmeler, yalnızca ilmî yeterliliği gösteren belgeler değil, aynı zamanda eğitim anlayışını, ilmî ilişkileri ve bilgi aktarım geleneklerini yansıtan tarihî kaynaklar niteliğindedir.

İcâzetin ilmî yetkilendirme niteliği, bu ilişkiyi meydana getiren temel unsurlar üzerinden daha açık biçimde anlaşılmaktadır. Klasik literatürde icâzet, yetkilendirmeyi gerçekleştiren kişi, bu yetkinin verildiği kişi, yetkilendirmenin konusu ve verilen izni bildiren ifade olmak üzere dört temel unsur çerçevesinde açıklanmaktadır. Bunlardan mücîz, icâzeti veren hocayı, mücâzün leh, kendisine icâzet verilen talebeyi, mücâzün bih ise rivayetine veya öğretimine izin verilen eser, rivayet yahut ilmi ifade etmektedir. Dördüncü unsur, hocanın söz konusu yetkiyi talebesine verdiğini açıkça belirten icâzet ifadesidir. İcâzet talebinde bulunan kişi için ise müstecîz terimi kullanılmaktadır. Bu unsurlar, icâzetin yalnızca bir eğitim sürecinin tamamlandığını bildiren genel bir onaydan ibaret olmadığını; tarafları, konusu ve kapsamı belirlenebilen ilmî bir yetkilendirme ilişkisine dayandığını göstermektedir. Dolayısıyla icâzetin anlamı ve kapsamı, yetkiyi veren hocanın ilmî konumu kadar verilen iznin hangi bilgi veya öğretim alanını kapsadığıyla da ilişkilidir (Sarı, 2000, s. 400-401; Çınar, 2020, s. 65-75).

Belirli bir kitabın rivayeti veya okutulmasına yönelik özel icâzetlerin yanı sıra çeşitli aklî ve naklî ilimleri kapsayan umumî icâzetler de bulunmaktadır. Hadis, kıraat, iftâ ve tedris gibi alanlarda verilen icâzetler ise ilgili disiplinlerin ilmî usulleri ve yetkinlik ölçütleri doğrultusunda farklı içerikler kazanmıştır. Bu çeşitlilik, icâzetin tek biçimli ve merkezî olarak

düzenlenmiş bir yeterlilik sisteminden ziyade hoca, talebe, ilim ve metin arasındaki ilişkilere göre şekillenen esnek bir yetkilendirme sistemi olduğunu göstermektedir. Nitekim icâzetin kapsamı, talebenin hangi ilimleri ve eserleri kimlerden öğrendiği, bu alanlarda ne ölçüde yetkin kabul edildiği ve hocanın hangi faaliyetlere izin verdiğiyle bağlantılıdır. Modern diplomada yeterliliğin çoğunlukla önceden belirlenmiş eğitim programları üzerinden tanımlanmasına karşılık geleneksel icâzette şahsî ilmî ilişki ve yetkilendirmenin konusu daha belirgin bir konuma sahiptir (Yıldız, 2023b, s. 320-325; Ekinci, 2017, s. 248-260).

İcâzet ve icâzetnâmenin kavramsal çerçevesi, İslâm eğitim tarihinde ilmî yetkilendirme anlayışının nasıl şekillendiğini ve zaman içerisinde hangi işlevleri üstlendiğini değerlendirmek bakımından önemli bir zemin oluşturmaktadır. Bu doğrultuda icâzet sisteminin tarihsel gelişiminin incelenmesi, söz konusu uygulamanın farklı dönemlerde ve ilmî çevrelerde kazandığı özelliklerin anlaşılmasına imkân sağlayacaktır.

2. İslâm Eğitim Tarihinde İcâzet Sisteminin Gelişimi

İslâm eğitim tarihinin erken dönemlerinde ilmî faaliyetler, belirli bir kurumsal yapıyla sınırlı kalmaksızın camilerdeki ders halkalarında, âlimlerin evlerinde, kitapçı dükkânlarında, ribâtlarda ve çeşitli ilmî meclislerde yürütülmüştür. Bu dönemde bilginin edinilmesi ve aktarılmasında, eğitim kurumlarına mensubiyetten ziyade ilmî yetkinliği ve güvenilirliği kabul edilen âlimlerle kurulan doğrudan ilişkiler belirleyici olmuştur. Özellikle *rihle* olarak adlandırılan ilim yolculukları, talebelerin farklı şehir ve bölgelerdeki âlimlerden ders almalarını sağlayarak geniş bir coğrafyaya yayılan ilmî ilişkilerin oluşmasına katkıda bulunmuştur. Bu ortamda gelişen icâzet sistemi, hoca-talebe ilişkilerini belirli bir ilmî yetkilendirme çerçevesine taşıyarak talebenin hangi eserleri veya rivayetleri, kimlerden ve hangi kapsamda aktarmaya yetkili olduğunu ortaya koyan bir uygulama niteliği kazanmıştır (Akpınar, 2000, s. 393-394; İpşirli, 2000, s. 141-142).

İcâzet geleneğinin teşekkülünde hadis rivayet usulleri önemli bir yere sahiptir. Hadislerin güvenilir biçimde aktarılması amacıyla geliştirilen isnad anlayışı, rivayetlerin hangi şahıslar aracılığıyla nakledildiğinin belirlenmesini gerekli kılmış, icâzet de bu çerçevede rivayet yetkisinin tanınmasına ilişkin usullerden biri olarak şekillenmiştir. Bununla birlikte icâzetin tarihsel gelişimi yalnızca hadis ilmiyle sınırlı kalmamış, farklı disiplinlerde öğretim ve ilmî yeterliliğin tanınmasına yönelik uygulamaları da kapsamıştır. Medreselerin yaygınlaşmasıyla birlikte eğitim faaliyetleri daha belirgin kurumsal yapılar içerisinde yürütülmeye başlanmış, ancak bu gelişme, hoca merkezli ilmî yetkilendirme geleneğini ortadan kaldırmamıştır. Medreseler eğitim mekânı, vakıf desteği, öğrenci barınması ve müderrislik gibi kurumsal imkânlar sunarken icâzetin verilmesinde hocanın ilmî otoritesi ve talebenin yeterliliğine ilişkin değerlendirmesi önemini korumuştur. Dolayısıyla medrese teşkilâtının gelişimi, şahsî ilmî otoritenin bütünüyle kurumsal otoriteye dönüşmesinden ziyade bu iki yapının belirli ilişkiler içerisinde birlikte varlığını sürdürdüğü bir süreç olarak değerlendirilmelidir (Sarı, 2000, s. 401; Uzunçarşılı, 1988).İcâzet geleneği, İslâm dünyasında ilmî faaliyetlerin gelişmesine paralel olarak yaygınlık kazanmıştır. Mesut Idrız, bu uygulamanın en geç hicrî IV. yüzyılda (X. yüzyıl) belirginleşerek Müslüman eğitim hayatının önemli unsurlarından biri hâline geldiğini belirtmektedir. Ancak icâzetin farklı coğrafyalarda benimsenmesi, merkezî bir otorite tarafından belirlenen standart bir sistemin oluşmasından ziyade, ilgili ilim dallarının ihtiyaçlarına ve öğretim geleneklerine göre çeşitlenen uygulamaların gelişmesini beraberinde getirmiştir. Nitekim icâzet, hadis ilminde rivayet yetkisini, fıkıhta belirli eserlerin okutulmasını, kıraatte okuyuşun aktarılmasını, hat sanatında meslekî yeterliliği, tasavvuf çevrelerinde ise öğretim veya irşad yetkisini ifade eden farklı işlevler üstlenmiştir (Idrız, 2003, s. 169-180).

3. İcâzetnâmelerin İslâm İlim Tarihindeki Önemi

İcâzetnâmeler, İslâm ilim geleneğinde ilmî ehliyetin tanınmasını ve belgelendirilmesini sağlayan önemli kaynaklardır. Bir âlimin belirli bir eseri rivayet etme, okutma veya bir ilim dalında öğretim faaliyetinde bulunma yeterliliği, hocasının değerlendirmesi doğrultusunda icâzet aracılığıyla kayıt altına alınmaktadır. Bu yönüyle icâzetnâme, talebenin eğitim sürecinde edindiği bilgi ve birikimin hocası tarafından değerlendirilerek belirli bir ilmî yetkinliğe ulaştığının kabul edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla icâzetnâmeler, geleneksel eğitim anlayışında öğrenim sürecine katılım ile ilmî yeterliliğin tanınması arasındaki ayrımı yansıtan belgeler olarak değerlendirilebilir (Yıldız, 2026a, s. 241-250).

İcâzetnâmelerin bir diğer işlevi, ilmî silsilelerin korunması ve bilgi aktarımının izlenebilir hâle getirilmesidir. Özellikle hadis ve kıraat alanlarında rivayet ve okuyuşun güvenilirliği bakımından önem taşıyan ilmî silsileler, umumî icâzetlerde de hocanın kendi hocalarını zikretmesiyle talebenin daha geniş bir ilmî gelenek içerisindeki yerini görünür kılmaktadır. Bu belgeler, âlimlerin ilmî aidiyetlerinin, hoca-talebe ilişkilerinin ve içinde bulundukları ilmî çevrelerin belirlenmesine imkân sağlaması bakımından İslâm ilim tarihi araştırmaları için önemli kaynaklar niteliğindedir. Farklı icâzetnâmelerin karşılaştırılmasıyla ortak hocalar ve talebeler, şehirler arasındaki ilmî hareketlilik, ulema ailelerinin eğitim ilişkileri ve eserlerin dolaşımı hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Ayar, 2014, s. 43-60).

İcâzetnâmeler, ilmî yeterliliğin yanı sıra eğitim geleneğinin ahlâkî boyutunu da yansıtmaktadır. Bu belgelerde talebeye takva, ihlâs, ilmin ehline öğretilmesi, kibirden kaçınılması ve bilginin sorumluluk bilinciyle aktarılması yönünde tavsiyelerde bulunulması, ilmî yetkinliğin yalnızca bilgi birikimiyle sınırlandırılmadığını göstermektedir. Böylece icâzet, bilgi aktarımı ile ahlâkî sorumluluğu aynı çerçevede değerlendiren bir eğitim anlayışını temsil etmektedir. Modern diplomalarda ise meslekî ve akademik etik önemini korumakla birlikte, bu tür şahsî nasihatler genellikle belgenin içeriğinde yer almamaktadır (Yıldız, 2023a, s. 534-540).

İcâzetnâmelerin tarihî kaynak değeri, içerdikleri biyografik bilgilerle de ilişkilidir. Talebenin adı, lakabı, nisbesi, memleketi ve ilmî vasıflarının yanı sıra icâzeti veren hocanın kimliği, unvanları, ilmî silsilesi ve belgenin düzenlendiği tarih ve yer gibi bilgiler bu metinlerde bulunabilmektedir. Söz konusu kayıtlar, tabakat ve terâcim literatüründeki bilgileri tamamlamakta, özellikle hakkında sınırlı bilgi bulunan âlimlerin ilmî çevrelerinin ve hoca-talebe ilişkilerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Düzenli, 2004, s. 265-270).

İcâzetnâmeler, kitap ve müfredat tarihinin araştırılmasında da önemli veriler sunmaktadır. Bu belgelerde belirli eserlerin zikredilmesi, söz konusu metinlerin ilmî aktarım ve öğretim ilişkileri içerisindeki yerini göstermektedir. Tereke kayıtları kitap sahipliğine, vakıf katalogları koleksiyonların muhtevasına ilişkin bilgiler sağlarken icâzetnâmeler, bazı durumlarda eserlerin okunması, rivayeti veya öğretimiyle ilgili ilişkilerin tespit edilmesine imkân vermektedir (Idrız, 2003, s. 169-175).

İcâzetnâmelerin ilmî ilişkileri ve yetkilendirme süreçlerini belgelendiren tarihî kaynaklar olması, bu belgelerin farklı toplumsal kimliklere sahip ulema açısından da incelenmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle seyyid ulemaya ait icâzetnâmeler, nesep aidiyetinden kaynaklanan toplumsal itibar ile tahsil ve ilmî yetkinliğe dayanan otoritenin aynı şahısta nasıl bir araya geldiğini değerlendirmek bakımından önem taşımaktadır.

4. Seyyid Ulema ve İlmî İcâzet: Nesep ve İlmî Silsilenin Kesişimi

Seyyid ulema kavramı, nesep aidiyeti ile ilmî kimliğin aynı şahısta birleşmesini ifade etmektedir. Seyyidlik, Hz. Peygamber'in soyuna mensubiyetle ilişkilendirilen ve Osmanlı toplumunda hukukî ve toplumsal karşılığı bulunan bir statüyü, ulema kimliği ise tahsil, ilmî birikim ve ilmiye mesleği çerçevesinde kazanılan yetkinliği temsil etmektedir. Bu nedenle

seyyid bir âlimin konumu değerlendirilirken nesep silsilesi ile ilmî silsilenin birbirinden ayrılması gerekmektedir (Işık, 2016, s. 129-170). Nesep şeceresi kişinin soy bağını ortaya koyarken icâzet silsilesi, bilgisini hangi hocalardan ve hangi ilmî ilişkiler aracılığıyla edindiğini göstermektedir. Her iki yapıda da silsile belirleyici olmakla birlikte bunların dayandığı aidiyet ve meşruiyet kaynakları farklıdır (Yıldız, 2021; Yıldız, 2026b, s. 313-323).

Bu ayrım, seyyid ulemaya ait icâzetnâmelerin mahiyetini anlamak bakımından da önem taşımaktadır. İslâm ilim geleneğinde yalnızca seyyidlere özgü, standartlaşmış ayrı bir icâzetnâme türünden söz etmek mümkün değildir. Seyyid bir âlim de diğer ulema gibi hadis, tefsir, fıkıh, kelâm, kıraat veya çeşitli ilim dallarında hocasından icâzet alabilmektedir. Dolayısıyla belgenin muhtevası ve düzenleniş biçimi esas itibarıyla icâzetin konusu ve ilgili ilmî geleneğin özellikleriyle şekillenmektedir. Bununla birlikte icâzetnâmelerde şahısların isimleriyle birlikte "es-Seyyid", "eş-Şerîf", "el-Hüseynî" ve "el-Hasenî" gibi nesep aidiyetini belirten unvanlara yer verilebilmektedir. Bu tür ifadeler belgenin ilmî yetkilendirme niteliğini değiştirmemekte, ancak icâzet sahibinin nesebî ve toplumsal kimliğinin metne yansımasını sağlamaktadır (Işık, 2021, s. 904-907; Işık, 2024, s. 815).

Osmanlı Devleti'nde seyyidlerin nesep kayıtları ve statülerine ilişkin işlemler, nakîbüleşraflık kurumu aracılığıyla yürütülmüştür. Nakîbüleşraf, Ehl-i beyt mensuplarının işlerini takip eden, nesep iddialarının incelenmesinde görev üstlenen ve seyyidlik statüsünün kurumsal temsilinde önemli rol oynayan bir ilmiye görevlisiydi. Bu görevi üstlenen şahısların ilmî formasyona sahip olmaları, nesebî statüyle ilişkili kurumsal yetki ile ilmî otoritenin aynı kişide birleşebildiğini göstermektedir.

Seyyid ulemaya ait icâzetnâmeler, belge özellikleri, ilmî ilişkiler ve kimlik unsurları olmak üzere üç düzeyde incelenebilir. İlk düzeyde belgenin dili, yazı özellikleri, tarihi, mühürleri, düzenleniş biçimi ve kullanılan unvanlar değerlendirilir. İkinci düzeyde icâzeti veren ve alan kişiler, ilmî silsilede yer alan hocalar, zikredilen eserler ve bunlarla ilişkili ilmî çevreler belirlenir. Üçüncü düzeyde ise seyyidlik unvanlarının metindeki kullanımı, ilmî unvanlarla ilişkisi ve nesep aidiyetinin belgede nasıl temsil edildiği araştırılır. Böylece icâzetnâme, ilmî yetkilendirmeyi belgelendirmenin yanı sıra ilmî otorite ile nesebî kimlik arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine imkân sağlayan önemli bir tarihî kaynak niteliği taşımaktadır.

İcâzetnâmelerde nesep aidiyetinin vurgulanması, ilmî yeterliliğin doğrudan soya dayandığı anlamına gelmemektedir. Bu durum, Osmanlı ilmiye çevrelerinde Ehl-i beyt mensubiyetinden kaynaklanan toplumsal itibar ile ilmî ehliyete dayanan otoritenin birbirinden farklı meşruiyet alanlarını temsil etmekle birlikte aynı şahısta birleşebildiğine işaret etmektedir. Söz konusu iki unsurun seyyid ulemanın ilmî ve meslekî konumunu hangi ölçüde etkilediği ise biyografik veriler ve tarihî belgeler üzerinden değerlendirilmelidir (Yıldız, 2025, s. 237-245).

Seyyid ulemaya ait icâzetnâmeler, aile içindeki ilmî ilişkilerin ve bilgi aktarımının izlenmesi bakımından da önem taşımaktadır. Özellikle baba, oğul ve diğer akrabalar arasında kurulan öğretim ilişkileri, ilmî birikimin nesiller boyunca nasıl sürdürüldüğünü ve aile çevresindeki ilmî faaliyetlerin hangi ilişkiler üzerinden şekillendiğini ortaya koyabilmektedir. Bu belgelerin sunduğu veriler, seyyid ulemanın ilmî kimliğinin tarihsel bağlamda değerlendirilmesine katkı sağlarken geleneksel icâzetin ilmî yetkilendirme işlevinin modern diploma sistemiyle karşılaştırılması için de bir zemin oluşturmaktadır.

4.1. Seyyid Ulemanın İcâzet Geleneği: Muhammed Na'âs Efendi Örneği

4.1.1. Seyyid Muhammed Na'âs Efendi'nin İcâzetnâmesi: Arapça Metnin Latin Harflerine Aktarımı

"Hâzihî sûratü icâzâtin mine'l-ulemâi'l-efâzıl

Elhamdüllilâhi ve's-salâtu ve's-selâmu alâ Resûlillâhi Seyyidinâ Muhammedin ve âlihi ve

sellem ve ba‘d fe-innî eceztü el-Âlim el-fâdıl veledî eş-şeyh Muhammed en-Na‘âs veffekahu’llâhu teâla ve es‘adehû âmin bi-sahîhi’l-Buhâri kemâ ecâzenî Şeyhî eş-Şeyh Hasan Salih Cemelü’l-leyl el-müderris el-hatîb el-imâm bi’l-Mescidi’l-Haram an şeyhihî eş-Şeyh Muhammed Âbid bin eş-Şeyh Ahmed el-Ensârî ve hüve an eş-Şeyh Salih el-Fülâtî an eş-Şeyh Muhammed bin Sünne an eş-Şeyh Ahmed el-Acel an eş-Şeyh Kutbeddin en-Nehrevânî an eş-Şeyh bin el-Fetûh an eş-şeyh Baba Yusuf el-Herevî an eş-Şeyh Muhammed bin Şâdbaht an eş-Şeyh bin en-Numan el-Hatlânî an eş-Şeyh ed-Darîrî an müellifihi eş-Şeyh Muhammed bin İsmail el-Buhârî kâle şeyhunâ Hüseyn el-mezkûr ve alâ hazâ beynî ve beyne eş-Şeyh Muhammed bin İsmail el-Buhârî aşratu ricâl nefe‘aniyallâhu teâla bi’l-cemî‘ fe-yekûnü beyne’l-âciz ve’l-Buharî ehade aşara ricâlen nefe‘aniyallâhu teâla bihim fi’d-dâreyn âmin ve ercu mine’l-mücâzi’l-mezkûr en lâ-yensânî min salihi da‘avâtihi gafarallâhu lî ve lehu ve li-vâlidînâ ve li-cemî‘i’l-müslimîn âmin innehû Gafûrun Rahîm kâlehû bi-femihî ve ketebehü bi-kalemihî hâdimü’l-ilmi’ş-şerîf bi-Trablusgarb Muhammed bin Mustafa bin Mahmud el-Hanefî afallahû anhum âmin âmin.
Fî 21 Cümâde’l-ûlâ sene 1298
[Mühür] es-Seyyid Muhammed Kâmil
Aslına mutabıktır.
Fî 8 Cümade’l-ûlâ sene 1310 ve fî 15 Teşrîn-i sânî sene 1308[4]

Bismillâhirrahmanirrahim İnnehû ile’l-ahi’l-fâdıl ve’l-hümâmi’l-kâmil eş-Şeyh Seydi Muhammed en-Na‘âs müftî livâi’l-Humus fi’t-târih es-selâmu aleykum ve’r-rahme ve’l-berake ve ba‘d fekad küntü kable hâzâ erseltü lekum ba‘da ebyâtin Tunûsiyyetin ve fetvâ Şeyhülislam fî mâddeti’l-haml ve’n-nüzheti’l-hayriyye fe-leallehâ vasalatukum ve kuntü vaadtükum fi’l-cevab ellezî maahâ bi-tafsîl mâ-lenâ mine’l-icâzât fa‘lem enne lî icâzâtin adîdetin min meşâyihî minhâ mâ lem yeştemil alâ tafâsîli’s-senedât ve minhâ mâ-iştemele alâ zâlike fe-min cümleti mâ teştemilü aleyhi icâzâtuna bimâ ihtevâ aleyhi sebetü eş-Şeyh el-Emiri’l-kebîr el-Mâlikî min kütübi’t-tefsir ve kütübi’l-ehâdis ve’l-fıkıh ve’n-nahv ve’s-sarf ve’l-mantık ve’l-beyân ve’l-luga ve’t-tasavvuf ve’l-evrâd ve’l-ahzâb ve’d-delâil ve gayrihâ mimmâ hüve mübeyyenün fîhi ve minhâ icâzâtuna bimâ fî sebeti el-Üstâz el-muhaddis eş-Şeyh es-Senûsî Ebi’ş-Şeyh el-mehdî hafazahullâhu teâla ve minhâ icâzâtuna bimâ fî sebeti el-Hâfız eş-Şeyh Mahmud Şükrü el-Hanefî el-müderris hâlen bi’l-Haremi’l-Mekkî ve hâzihi’l-icâzât kânet lenâ kable’t-teveccüh ilâ Tunus fe-lemmâ teveccehnâ ileyhâ eceztü bimâ fî hâzihi’l-esbâti meşâyîha kesîra min ekâbirihâ ve ecâzenî Şeyhülislam ba‘de icâzetî lehu bi-cümleti mâ ihtevâ aleyhi sebetü eş-Şeyh el-hakkî eş-Şâfiî ve ecâzenî eş-Şeyh Muhtar Aşvihatü’l-Malikî bimâ fî sebeti eş-Şeyh es-Sabbâğ el-İskenderânî el-Mâlikî ve kânet icâzetü hâze’ş-Şeyh nazmen ve mimmâ lî mine’l-icâzâti’l-âliyyeti’s-sened ellezî lâ yûced lehâ nazîr fi’l-uluvvi’l-yevm fi ma a’lem el-icâze bi-sahihi’l-Buharî seneduhâ yahtevî alâ ehade aşara vâsıta beynî ve beyne’l-Buharî fetehallâhu bihâ aleyye hîne zürtü’l-Harameyni’ş-şerîfeyn ve hâzihî li-izzetihâ rağibehâ minnî ekâbiru Tunus cidden fe-ehazûhâ annî ve lillâhi’l-hamd ve mezîdü’ş-şükr ve hâ ene kad bâdertü bi-menhike bihâ ve ketebtühâ leke bi-varakatin sağîra kemâ ketebehâ lî eş-Şeyh Cemelülleyl kezâlik ve hâ hiye te’tîküm ma‘a hâze’l-cevâb inşâallâhu teâla ve eceztukum bi-cemî‘i’l-ulûmi’l-akliyye ve’n-nakliyye fetehallâhu teâlâ aleyküm fetha’l-ârifîne billâhi âmin fe-usîke yâ veledî bi-takvallahi teâlâ fi’s-sırri ve’l-alâniyye ve uhazziruke min isyânihî ve muhâlefetihî ve mine’t-tamai fîmâ fî eydi’n-nâs ve es’elullahe selâmetenâ maan minhu âmin ve ercûkum sâliha’d-daavât fi’l-halvâti ve’l-celvât âmin ve’s-selâmu hitâmun min kâtibihî.

[4] MŞH, **SAİD,** 242/29, 5162

Fî 23 Cümâde'l-ûlâ sene 1298
Muhammed bin Mustafa bin Mahmud ufiye anhum âmin
Aslına mutabıktır
Fî 8 Cümâde'l-ûlâ sene 1310 ve fî 15 Teşrîn-i sânî sene 1308

Elhamdülillâhi ve's-salâtü ve's-selâmu alâ Resûlillâh Seyyidinâ Muhammed ve alâ âlihi ve ashâbihi ve men vâlâhu ve ba'd fekad iltemese minnî *el-ahü'n-necîbü'l-âlimü'n-nesîb* el-müderris el-edîbü'ş-şerif Seyyidi Muhammed Na'âs ibn es-Seyyid Muhammed el-Emîn bin eş-Şerif hafazanallâhu ve iyyâhu ve rezakanâ muhabbetehû ve rızâhu en ucîzehû bimâ ecâzeni bihî eşyâhî mine'l-ulûmi'ş-şer'iyye nakliyye ve akliyye fe-eceztuhû fî cemîi mâ telakkaytuhû an eşyâhî icâzeten tâmmeten âmmeten mûsiyen bimâ evsallâhu bihî fî kitâbihi'l-azîz haysü kâle "*ve lekad vassaynellezîne ûtû'l-kitâbe min kablikum ve iyyâkum enittekullâh*"[5] mültemisen minhu sâliha'd-dua akbe salavâtihi fî halvâtihi ve celvâtihî ve'l-hamdü lillâhi Rabbi'l-âlemîn ve's-salâtü ve's-selâmu alâ eşrafi'l-mürselîn Seyyidinâ Muhammed ve alâ sâiri ihvânihî mine'n-nebiyyîne ve'l-mürselîn ve alâ küllin mine's-sahâbeti ecmaîn ve't-tâbiîne lehum bi-ihsânin ilâ yevmi'd-din ve ketebehu Abdülhâfîz bin Muhammed bin Abdülhâfîz bin Ali bin Ahmed bin Abdülmuhsin ufiye anhum âmin
[Mühür] Abdülhâfîz bin Muhsin
Aslına mutabıktır.
Fî 8 Cümâde'l-ûlâ sene 1310

4.1.2. Seyyid Muhammed Na'âs Efendi'nin İcâzetnâmesinin Analizi

Seyyid Muhammed Na'âs Efendi'ye ilişkin birbirini tamamlayan üç icâzet, Şeyhülislamlık Arşivi'nde SAİD, 242/29, 5162 numarada kayıtlıdır. İlki 21 Cemâziyelevvel 1298 tarihli Sahîh-i Buhârî rivayet yetkisini belirli bir hoca zinciriyle aktarırken ikincisi 23 Cemâziyelevvel 1298 tarihli icâzet veren âlimin farklı ilim dallarındaki yetkilerini, coğrafi temaslarını ve muhatabına nasihatlerini açıklamaktadır. Her ikisinin altında 8 Cemâziyelevvel 1310 ve 15 Teşrînisânî 1308 tarihli "aslına mutabıktır" kayıtları bulunmaktadır. İcâzetnâmede yer alan "aslına mutabıktır" ibaresi, belgenin sonraki bir tarihte asıl nüshasıyla karşılaştırılarak tasdik edildiğini göstermektedir. Bu kayıt, Osmanlı ilmiyye geleneğinde icâzetnâmelerin yalnızca ilmî yetkiyi belgeleyen metinler olarak değil, aynı zamanda suretleri çıkarılan, muhafaza edilen ve gerektiğinde resmî işlemlerde kullanılabilen vesikalar olarak da değerlendirildiğine işaret etmektedir. Üçüncüsü ise Muhammed Na'âs'ın "Seyyid" ve "şerif" nitelemeleriyle anıldığı umumi bir icâzet metnidir. Belge, ilmî otorite ile nesep aidiyetinin aynı şahısta birleşmesini göstermesi bakımından değerlidir; ancak tek başına kesintisiz bir nesep silsilesi veya resmî siyâdet tescili sunmamaktadır. Üçüncü metinde Abdülhâfız b. Muhammed b. Abdülhâfız b. Ali b. Ahmed b. Abdülmuhsin tarafından verilen genel icâzet ve 8 Cemâziyelevvel 1310 tarihli tasdik kaydı yer almaktadır.

Muhammed Na'âs, ilk metinde "el-âlim el-fâdıl" ve "veledî" gibi hürmet ve yakınlık bildiren ifadelerle anılır. İkinci metinde "müftî livâi'l-Humus" kaydı bulunur; bu ifade Humus livası müftülüğüyle ilişkilendirilen bir ilmî-idarî konuma işaret etmektedir. Üçüncü metinde "el-müderris el-edîb" sıfatları eğitim ve edebî yetkinlik vurgusunu pekiştirmektedir. İlk metnin belirleyici ifadesi "eceztü ... bi-Sahîhi'l-Buhârî"dir. İcâzet veren kişi, kendisine ulaşan silsileyi Hasan Sâlih Cemelü'l-leyl üzerinden Muhammed Âbid b. Ahmed el-Ensârî, Sâlih el-Fülâtî ve

5 Nisâ 4/131

diğer isimlere bağlayarak Buhârî'ye kadar götürmektedir. Metinde on ve on bir râvi, kişinin isnaddaki yerine göre ayrı ayrı belirtilmektedir. İkinci metin tefsir, hadis, fıkıh, nahiv, sarf, mantık, beyan, lugat, tasavvuf, evrâd, ahzâb ve delâil gibi sahaları saymaktadır. Ayrıca "cemî'i'l-ulûmi'l-akliyye ve'n-nakliyye" ibaresiyle geniş kapsamlı icâzet verilmiştir. Üçüncü metindeki "icâzeten tâmmeten âmmeten" ifadesi de genel yetkilendirmeyi göstermektedir. Bu liste, ilmî geleneğin çok disiplinli ufkunu gösterse de her dalda eşit derecede uzmanlık, belirli bir müfredatın bitirilmesi veya ayrı ayrı sınavların geçilmesi sonucunu çıkarmaya elverişli değildir.

İcâzet veren kişi kendisini Trablusgarp'ta "hâdimü'l-ilmi'ş-şerîf" olarak tanıtmaktadır. Metinde Mescid-i Harâm'da müderris, hatip ve imam olan hocalara, Haremeyn ziyaretine ve Tunus'taki ileri gelen âlimlerle karşılıklı icâzet alışverişine yer verilmektedir. Böylece Trablusgarp–Haremeyn–Tunus hattı boyunca hareket eden bir ilmî otorite ağı görünür hâle gelmektedir.

Üçüncü metinde muhatap "eş-Şerîf es-Seyyid Muhammed Na'âs ibn es-Seyyid Muhammed el-Emîn bin eş-Şerif" olarak tanıtılır. Burada "Seyyid" ve "şerif" unvanlarının baba hattına uzanan bir aidiyet dili kurduğu açıktır. Unvanların kullanımı seyyidlik iddiasının ve sosyal kabulünün önemli bir göstergesidir; Hz. Peygamber'e kadar uzanan nesep zincirinin tam ispatı değildir. Nesep şeceresi soy bağını nesiller boyunca izlemeyi, siyâdet hücceti ise belirli usuller içinde nesep statüsünün tasdikini amaçlamaktadır. Buradaki icâzetin asli işlevi ilmî aktarım yetkisi ve hoca-talebe ilişkisini kayıt altına almaktır. Belgenin seyyidlik unvanlarını ihtiva etmesi, nesep araştırması için destekleyici kanıt oluşturur; fakat onu doğrudan siyâdet hüccetiyle eşdeğer görmek yöntemsel olarak sakıncalıdır. İlmî isnadın Buhârî'ye ulaşması ile biyolojik nesebin Hz. Peygamber'e ulaşması iki ayrı silsile türüdür.

Seyyid Muhammed Na'âs Efendi'nin icâzetnâmesi, geç Osmanlı döneminde bir âlimin meşruiyetini, Sahîh-i Buhârî'ye bağlanan rivayet silsilesi, aklî ve naklî ilimleri kapsayan genel icâzetler, Haremeyn ve Kuzey Afrika merkezleri arasında kurulan ilmî ilişkiler ve seyyidlik/şeriflik unvanları gibi hususların farklı düzlemleriyle birlikte görünür kılmaktadır. Belgenin en güçlü katkısı, ilmî isnad ile nesep aidiyetinin aynı şahsın kimliğinde nasıl yan yana sunulduğunu göstermesidir. Bununla birlikte icâzetnâme, resmî siyâdet hüccetinin veya eksiksiz nesep şeceresinin yerine geçirilmemelidir. Bu ayrım, seyyid ulemanın eğitim, dolaşım ve toplumsal meşruiyet tarihini incelerken daha sağlam bir belge okuması sağlamaktadır.

5. Geleneksel İcâzet ile Modern Diplomanın Karşılaştırılması

Geleneksel icâzetnâme ile modern diploma, ilmî yeterliliğin tanınması ve belgelendirilmesi bakımından benzer işlevler üstlenmekle birlikte dayandıkları otorite anlayışı açısından farklılaşmaktadır. İcâzette yetkilendirmenin temel kaynağı, hocanın ilmî birikimi, itibarı ve talebesinin yeterliliğine ilişkin değerlendirmesidir. Modern diplomada ise yetkilendirme, belirlenmiş eğitim programları ve hukukî düzenlemeler çerçevesinde faaliyet gösteren yükseköğretim kurumları tarafından gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla icâzet, ağırlıklı olarak hoca ile talebe arasındaki şahsî ilmî ilişkiye dayanırken diploma, kurumsal olarak tanımlanmış bir yeterliliği belgelemektedir. Bununla birlikte geleneksel eğitimde kurumların, modern eğitimde ise hoca-talebe ilişkilerinin önemini koruduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

İki sistem arasındaki bir diğer farklılık, yetkilendirmenin kapsamı ve yeterliliğin değerlendirilme biçimidir. İcâzet belirli bir eserin rivayetine, okutulmasına, bir ilim dalına veya çeşitli ilimleri kapsayan daha geniş bir yetkinliğe ilişkin olabilmektedir. Bu süreçte hocanın talebeyi gözlemlemesi, metinleri kavrama düzeyini ve aktarma becerisini değerlendirmesi önem taşımaktadır. Modern diplomada ise yeterlilik, önceden belirlenmiş müfredat, ders yükü, sınavlar, krediler ve mezuniyet şartları üzerinden tanımlanmaktadır. Geleneksel eğitimde de imtihan ve kurumsal düzenlemeler bulunmakla birlikte icâzetin kapsamı ve verilme usulleri,

dönemlere ve ilmî geleneklere göre farklılık gösterebilmektedir.
İcâzetnâmeyi modern diplomadan ayıran önemli özelliklerden biri de ilmî silsilenin belgede yer alabilmesidir. Hocanın kendi hocalarını zikretmesi, talebenin belirli bir bilgi aktarım geleneğine dâhil edildiğini göstermektedir. Bu durum, ilmî otoritenin şahıslar arasındaki ilişkiler üzerinden izlenmesine imkân sağlamaktadır. Modern diplomada ise yeterliliğin tanınması için böyle bir silsile şartı bulunmamaktadır. Ayrıca icâzetnâmelerde ilmî silsilenin yanı sıra dua, nasihat, ilmin fazileti ve ahlâkî sorumluluklara ilişkin ifadelere yer verilebilmekte, modern diplomalar ise genellikle derece, program ve mezuniyet bilgilerini içeren standart belgeler olarak düzenlenmektedir. Bu bakımdan icâzetnâmeler, ilmî yetkilendirmeyle birlikte eğitim geleneğinin biyografik ve ahlâkî özelliklerini de yansıtmaktadır.
Belgelerin tanınması ve meslekî sonuçları bakımından da farklılıklar bulunmaktadır. Modern diplomaların geçerliliği, ilgili mevzuat, akreditasyon ve denklik mekanizmaları çerçevesinde belirlenirken icâzetin ilmî itibarı büyük ölçüde icâzeti veren hocanın tanınırlığına ve mensup olduğu ilmî çevreye dayanmaktadır. Bununla birlikte icâzetin ilmî yeterliliği göstermesi, her durumda belirli bir göreve doğrudan atanma hakkı sağladığı anlamına gelmemektedir. Nitekim Osmanlı ilmiye teşkilâtında meslekî ilerleme, icâzetin yanı sıra mülâzemet, ruûs ve tayin gibi idarî süreçlerle de ilişkiliydi. Modern diplomalar da ilgili mesleğin hukukî şartlarına göre farklı yetki ve sonuçlar doğurabilmektedir.
İcâzetnâmelerin düzenleniş biçimi, içeriği ve yetkilendirme kapsamı bakımından gösterdiği çeşitliliğe karşılık modern diplomalar, daha standart bir belgelendirme anlayışına dayanmaktadır. Bu farklılık, her iki sistemin ilmî ehliyeti tanıma ve belgelendirme biçimlerinin kendi tarihsel ve kurumsal şartları içerisinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Geleneksel icâzet ile modern diploma arasındaki temel benzerlik ve farklılıklar aşağıdaki tabloda karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Geleneksel İcâzet ile Modern Diplomanın Karşılaştırılması

Ölçüt	Geleneksel İcâzet	Modern Diploma
Otorite kaynağı	İcâzeti veren hocanın ilmî yetkinliği ve otoritesi	Yetkili eğitim kurumu ve hukukî düzenlemeler
Temel yapı	Hoca, talebe ve eser/ilim ilişkisi	Kurum, program ve müfredat
Yetkilendirme kapsamı	Belirli eser, ilim veya birden fazla alanı kapsayabilir	Tanımlanmış eğitim programı ve akademik derece
İlmî silsile	Hoca-talebe zinciri belgeye yansıyabilir	Diplomanın zorunlu unsuru değildir
Değerlendirme	Hocanın yeterlilik değerlendirmesi ve ilgili öğretim usulleri	Sınav, kredi, not, tez ve mezuniyet şartları
Belgenin içeriği	İlmî silsile, dua, nasihat ve biyografik bilgiler içerebilir	Standart akademik ve idarî bilgiler
Meslekî sonuçlar	İlmî yetkiyi gösterir. Resmî görev için ek şartlar aranabilir	İlgili mesleklerde hukukî veya kurumsal ön şart olabilir
Tanınma biçimi	Hocanın itibarı ve ilmî çevreler aracılığıyla	Mevzuat, akreditasyon ve denklik mekanizmalarıyla
Seyyidlikle ilişkisi	Nesep unvanları belgede yer alabilir. İlmî ehliyetin kaynağı değildir.	Nesep mensubiyeti akademik derecenin ölçütü değildir

Sonuç

İslâm eğitim tarihinde icâzet sistemi, ilmî ehliyetin tanınması ve bilginin güvenilir biçimde aktarılması bakımından önemli bir işlev üstlenmiş; icâzetnâmeler ise ilmî ilişkilerin, eğitim süreçlerinin ve bilgi aktarım ağlarının izlenmesine imkân sağlayan tarihî belgeler niteliği kazanmıştır. Osmanlı ilmiye teşkilâtında icâzet, ilmî yeterliliğin önemli göstergelerinden biri olmakla birlikte müderrislik, kadılık ve diğer resmî görevlere intisapta mülâzemet, ruûs ve tayin gibi idarî süreçlerin de belirleyici olması, ilmî ehliyetin tanınması ile meslekî yetkilendirmenin her zaman aynı anlama gelmediğini ortaya koymaktadır.

Seyyid ulema bağlamında yapılan değerlendirme, nesep aidiyetinden kaynaklanan toplumsal itibarın ilmî yetkinlikle özdeşleştirilemeyeceğini, ancak bu iki unsurun aynı şahsın toplumsal ve ilmî konumunun şekillenmesinde birlikte rol oynayabildiğini göstermektedir. İcâzetnâmelerde yer alan nesep unvanları, seyyid âlimlerin toplumsal kimliklerinin ilmî belgelere yansımasını sağlarken yetkilendirmenin esasını ilgili ilim dalındaki yeterlilik ve hocanın değerlendirmesi oluşturmaktadır. Bu bakımdan seyyid ulemanın ilmî meşruiyeti, nesebî aidiyetin sağladığı itibardan bağımsız olarak kazanılan ilmî ehliyet dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Geleneksel icâzet ile modern diplomanın karşılaştırılması, ilmî yeterliliğin belgelendirilmesinde süreklilik gösteren işlevlere karşılık, yetkilendirme mekanizmalarının tarihsel süreçte farklılaştığını ortaya koymaktadır. Bu farklılaşma, şahsî ilmî ilişkilerin yerini bütünüyle kurumsal yapıların aldığı doğrusal bir değişimden ziyade, ilmî yeterliliğin hangi ölçütlerle değerlendirildiği ve hangi otoriteler tarafından tanındığı üzerinden anlaşılmalıdır. Dolayısıyla iki sistem arasındaki temel ayrım, yalnızca belgelerin biçiminde değil, ilmî yetkinliğin toplumsal ve kurumsal geçerlilik kazanma süreçlerinde belirginleşmektedir.

Seyyid ulemaya ait icâzetnâmelerin nesep kayıtları, nakîbüleşraf defterleri, siyâdet hüccetleri, mülâzemet ve ruûs kayıtlarıyla birlikte incelenmesi, nesebî aidiyet ile ilmî ve meslekî ilişkilerin tarihsel örnekler üzerinden daha somut biçimde açıklanmasına katkı sağlayacaktır. Özellikle bu belgelerdeki şahıs adlarının, unvanların, ilmî silsilelerin ve yetkilendirme ifadelerinin karşılaştırılması, seyyid ulemanın Osmanlı ilim çevrelerindeki konumunun ve ilmiye kariyerlerinin şekillenmesinde etkili olan unsurların belirlenmesine imkân verecektir.

Sonuç olarak bu çalışma, geleneksel icâzet ile modern diplomanın karşılaştırılmasının yalnızca iki eğitim belgesi arasındaki benzerlik ve farklılıkları ortaya koymakla sınırlı olmadığını göstermektedir. Seyyid ulema örneği üzerinden değerlendirildiğinde bu karşılaştırma, nesebî statü, ilmî ehliyet ve kurumsal tanınma arasındaki ilişkilerin tarihsel mahiyetini anlamaya imkân vermekte, ilmî otoritenin oluşumu ve meşruiyet kazanma biçimlerinin farklı dönemlerde nasıl şekillendiğine ilişkin daha geniş bir değerlendirme zemini sunmaktadır.

Kaynakça

Akpınar, C. (2000). İcâzet. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 21, ss. 393–400). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

Arslan, D. (2003). Kıraat ilminde icâzetnâme geleneği ve bir icâzetnâme örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 7*(2), 291–318.

Ayar, T. (2014). Bir Osmanlı müderrisinin icâzetnâmesi ve tarihî kaynak değeri üzerine bazı mülahazalar. *Turkish Studies, 9*(1), 43–62.

Bilgili, İ. (2012). Osmanlı İslâm hukukçularından Şeyhzade Ahmed Ziya Efendinin Hasan Kudsî Efendiden aldığı ilmî icazet. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 1*(1), 21–75. https://izlik.org/JA69TC52RS

Çınar, N. (2020). Tasavvufta icâzet geleneği: Nakşî Hâlidî şeyhi Ervâdî örneği. *Ağrı İslâmi İlimler Dergisi*, (6), 63–104.
Düzenli, M. (2004). İslam rivâyet geleneğinde icâzet. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 17*(17), 265–300.
Ekinci, M. İ. (2017). Tillo Mücahidiyye Medresesi'nde icâzet ve icâzetnâme. *Siirt Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 4*(2), 241–260.
Hatîb el-Bağdâdî. (t.y.). *el-Kifâye fî ilmi'r-rivâye*. Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.
Idrız, M. (2003). İslâm eğitim yaşamında icazet geleneği. *Değerler Eğitimi Dergisi, 1*(3), 169–188.
Işık, A. (2016). Siyâdet hüccetleri ve irşâd icâzetnâmelerinin semantik ve sembolik tahlili. *Alevilik Araştırmaları Dergisi*, (11), 129–179.
Işık, A. (2021). Maktül Şeyhülislâm Feyzullah Efendi'nin torunu Nakîbü'l-Eşrâf Abdullah Efendi'nin hayatı ve terekesi. *e-Makalat Mezhep Araştırmaları Dergisi, 14*(2), 904–947.
Işık, A. (2024). Şeyhülislam Sadullah Sadi Çelebi'nin hayatı ve Kızılbaşlarla ilgili fetvası. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 13*(2), 815–838. https://doi.org/10.15869/itobiad.1462594
İbnü'l-Cezerî. (t.y.). *en-Neşr fi'l-kırâ'âti'l-ʿaşr*. Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.
İpşirli, M. (2000). İlmiye. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 22, ss. 141–145). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.
Kütükoğlu, M. S. (1994). Diplomatik. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 9, ss. 360–366). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.
Pakalın, M. Z. (1983). *Osmanlı tarih deyimleri ve terimleri sözlüğü*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
Sarı, M. A. (2000). İcâzet (kıraat). *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 21, ss. 400–401). Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.
Süyûtî, C. (t.y.). *Tedrîbü'r-râvî fî şerhi Takrîbi'n-Nevevî*. Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.
Uzunçarşılı, İ. H. (1988). *Osmanlı Devleti'nin ilmiye teşkilâtı* (3. bs.). Türk Tarih Kurumu Yayınları.
Yıldız, E. (2021). *Şeyhülislamlık arşivi belgelerinde ulemanın soy kökenleri ve aile bağları*. İlahiyat Yayınları.
Yıldız, E. (2023a). Halid b. Velid neslinden Kudüslü âlim ve seyyah Halil Cevad Efendi. *İslâmi Araştırmalar, 34*(2), 534–549.
Yıldız, E. (2023b). Hz. Halid b. Velid neslinden Musa Şefik Efendi'nin şeceresi ve icâzetnâmesinin tahlili. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 10*(4), 320–343.
Yıldız, E. (2025). Osmanlı Devleti'nde soybilim/jeneoloji arşiv kaynakları. *3. Uluslararası Üsküdar Bilimsel Araştırmalar Kongresi Kitabı* (ss. 237–247). İKSAD Yayınları.
Yıldız, E. (2026a). Osmanlı ulemasının icâzetnâmeleri. *5. Uluslararası Avrasya Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi Kitabı* (ss. 241–251). İKSAD Yayınları.
Yıldız, E. (2026b). Osmanlı ulemasının şecereleri. *3. Uluslararası Beykoz Bilimsel Araştırmalar Kongresi Kitabı* (ss. 313–323). İKSAD Yayınları.

NESEBİN TEMSİLİ VE MEŞRUİYETİ: SEYYİDLİK ŞECERELERİ İLE SAHÂBE SOYU ŞECERELERİNİN MUKAYESESİ

Ayhan IŞIK
Doç. Dr., Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi, Karabük, Türkiye,
ORCID: 0000-0002-7017-2583

ÖZET
Nesep, İslâm toplumlarında biyolojik akrabalığın yanı sıra kimliğin, aidiyetin, toplumsal hafızanın ve belirli durumlarda hukukî statünün şekillenmesinde önemli rol oynayan bir temsil biçimidir. Bu çalışma, Osmanlı toplumunda Hz. Peygamber'in nesline mensubiyeti gösteren seyyidlik şecereleri ile sahâbe soyuna mensubiyeti ortaya koyan şecereleri karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Araştırmanın temel problemi, aynı soy zinciri anlayışına dayanan bu iki belge grubunun benzerlik ve farklılıklarının nesebin temsili ve meşruiyeti bakımından nasıl açıklanabileceğidir. Karşılaştırmalı belge analizi yöntemine dayanan araştırmada Meşîhat Arşivi belgeleri, Nakîbü'l-eşrâflık kayıtları ve Sicill-i Ahvâl dosyaları değerlendirilmektedir. Özellikle Hâlid b. Velîd neslinden Mûsa Şefik Efendi'nin şecere ve icâzetnâmesi örnek olay olarak ele alınmaktadır. İnceleme sonucunda, seyyidlik şecerelerinin Nakîbü'l-eşrâflık tarafından yürütülen nesep tahkiki ve tasdik süreçleriyle ilişkili olarak daha kurumsallaşmış bir belgelendirme sisteminin parçası hâline geldiği, sahâbe soyuna ait şecerelerde ise aile hafızasının korunması, ilmî itibarın desteklenmesi, yerel seçkinlik ve tarihî aidiyetin sürdürülmesi gibi işlevlerin öne çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte ilmiye mensuplarına ait tercüme-i hâl varakaları, icâzetnâmeler ve şecereler, sahâbe soyuna mensubiyetin Osmanlı resmî kayıtlarında da yer aldığını göstermektedir. Bu çerçevede şecereler, yalnızca soy zincirlerini gösteren belgeler olarak değil, nesebin yazılı, görsel, bürokratik ve sembolik düzeylerde temsil edilmesine imkân sağlayan tarihî kaynaklar olarak değerlendirilmektedir. Çalışma, seyyidlik ile sahâbe soyuna mensubiyetin aynı kurumsal ve hukukî çerçevede ele alınamayacağını, ancak her iki şecere geleneğinin de Osmanlı toplumunda nesep aidiyetinin korunması, toplumsal kimliğin görünür kılınması ve geçmişle süreklilik kurulması bakımından önemli işlevler üstlendiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: İslâm Mezhepleri Tarihi, Nesep, Şecere, Seyyidlik, Sahâbe Soyu, Nakîbü'l-eşrâflık, Meşruiyet.

THE REPRESENTATION AND LEGITIMACY OF GENEALOGY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SAYYID GENEALOGIES AND THE GENEALOGIES OF THE PROPHET'S COMPANIONS' DESCENDANTS

ABSTRACT
In Islamic societies, genealogy (nasab) has played an important role not only in establishing biological kinship but also in shaping identity, belonging, collective memory, and, in certain circumstances, legal status. This study comparatively examines genealogical documents tracing descent from the Prophet Muhammad, known as sayyid genealogies, and those establishing descent from the Prophet's Companions in Ottoman society. The central research problem concerns how the similarities and differences between these two categories of documents, both grounded in the principle of genealogical continuity, can be explained in terms of the representation and legitimacy of descent. Employing a comparative documentary analysis, the

study examines documents from the Mashīkhat Archive, records of the Naqīb al-Ashrāf institution, and Sijill-i Aḥwāl personnel files. Particular attention is given to the genealogy and ijāzanāma of Mūsā Shafīq Efendi, a descendant of Khālid ibn al-Walīd, as a case study. The findings indicate that sayyid genealogies became part of a more institutionalized system of genealogical documentation through the procedures of lineage verification and authentication conducted by the Naqīb al-Ashrāf institution. By contrast, genealogies tracing descent from the Prophet's Companions primarily served to preserve family memory, reinforce scholarly prestige, sustain local elite status, and maintain a sense of historical belonging. Nevertheless, biographical records, ijāzanāmas, and genealogical documents belonging to members of the Ottoman learned establishment demonstrate that descent from the Companions was also recorded in official Ottoman administrative records. Within this framework, genealogies are examined as historical sources that represent descent in written, visual, bureaucratic, and symbolic forms, rather than simply as records of ancestral succession. The study concludes that sayyid status and descent from the Prophet's Companions cannot be understood within the same institutional and legal framework. However, both genealogical traditions played significant roles in preserving genealogical identity, making social belonging visible, and establishing continuity with the past in Ottoman society.
Keywords: History of Islamic Sects, Genealogy (Nasab), Genealogical Records, Sayyid Status, Descent from the Prophet's Companions, Naqīb al-Ashrāf, Legitimacy.

Giriş

İslâm tarih yazıcılığında nesep bilgisi, erken dönemlerden itibaren siyasî, toplumsal ve ilmî kimliğin önemli unsurlarından biri olmuştur. Arap toplumunda kabile aidiyetini belirleyen nesep, İslâmiyet'in kabulüyle birlikte yeni dinî ve ahlâkî değerler çerçevesinde yeniden anlam kazanmıştır. Hz. Peygamber'in ailesine, Ehl-i Beyt'e, ashâbına ve sonraki nesillere ilişkin kayıtlar, biyografik bilgilerin korunmasının yanı sıra İslâm toplumunun kurucu nesillerle bağını sürdürme anlayışını da yansıtmaktadır. Bu doğrultuda ensâb kitapları, tabakât ve terâcim eserleri, menâkıbnâmeler, icâzetnâmeler, vakfiyeler, mahkeme kayıtları ve müstakil şecereler, nesebin kayıt altına alınması ve sonraki kuşaklara aktarılmasında birbirini tamamlayan kaynaklar hâline gelmiştir.

Osmanlı döneminde nesebin kurumsal düzeyde tespit ve tescili, özellikle Hz. Peygamber'in Hz. Fâtıma ve Hz. Ali yoluyla devam eden nesline mensup seyyidler açısından önem kazanmıştır. Seyyidlerin toplumsal itibarı, belirli vergi ve teşrifat uygulamaları, yeşil alâmet kullanımı ve çeşitli idarî-hukukî düzenlemeler, nesep iddialarının doğrulanmasını devlet açısından gerekli kılmıştır. Bu çerçevede Nakîbü'l-eşrâflık kurumu, nesep kayıtlarının tutulması ve seyyidlik iddialarının denetlenmesinde önemli bir işlev üstlenmiştir. Siyâdet hüccetleri, nesebnâmeler, şecereler ve ilgili defterler kurumsal bir doğrulama sistemi içerisinde değerlendirilmiştir. Meşîhat Arşivi belgeleri, siyâdet iddialarının yalnızca aile beyanına dayanmadığını, teftiş ve kayıt mekanizmaları aracılığıyla denetlendiğini göstermektedir. Seyyid olmadığı hâlde seyyidlik iddiasında bulunulmasını ifade eden müteseyyidlik olgusu ise nesep belgelerinin sağladığı toplumsal ve hukukî meşruiyetin neden kurumsal denetime ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

Sahâbe soyuna mensubiyet ise seyyidlikten farklı bir hukukî ve kurumsal çerçevede değerlendirilmiştir. Hz. Ebû Bekir, Hz. Ömer, Hz. Osman, Hâlid b. Velîd ve diğer sahâbîlerin neslinden geldiklerini belirten aileler, bu aidiyetlerini aile şecereleri, nisbe ve lakaplar, biyografik kayıtlar, icâzetnâmeler ve yerel hafıza aracılığıyla sürdürmüşlerdir. Osmanlı bürokratik kayıtlarında seyyidlik mensubiyetini bildirenlerin yanı sıra sahâbe soyundan

geldiğini belirten ilmiye mensuplarına ilişkin bilgilere de rastlanmaktadır. Bu durum, sahâbe nesebinin seyyidlikte olduğu gibi müstakil bir Nakîbü'l-eşrâflık teşkilatının denetiminde bulunmamasına rağmen Osmanlı resmî kayıtlarında yer aldığını göstermektedir.

Bu makalede temsil, nesebin isimler zinciri, unvan, nisbe, mühür, tasdik, belge biçimi ve arşiv kayıtları aracılığıyla görünür kılınmasını, meşruiyet ise bir soy iddiasının aile çevresinin ötesinde kabul görmesini, doğrulanmasını ve gerektiğinde resmî işlemlerde dayanak olarak kullanılabilmesini ifade etmektedir. Şecereler, geçmişe ilişkin soy bilgilerini kaydetmenin yanı sıra bireylerin ve ailelerin toplumsal konumlarının tanınmasına ve sürdürülmesine de katkı sağlamaktadır.

Çalışmada karşılaştırmalı belge analizi yöntemi benimsenmiştir. Öncelikle seyyidlik şecerelerinin kavramsal ve kurumsal çerçevesi ele alınacak, ardından sahâbe soyuna ait şecerelerin kaynakları ve işlevleri incelenecektir. Daha sonra her iki belge grubu; soyun başlangıç noktası, doğrulama mercii, belge dili, diplomatik yapı, hukukî sonuçlar, sembolik itibar, sahtecilik riski, bürokratik kayıt ve kuşaklar arası hafıza bakımından karşılaştırılacaktır. Hâlid b. Velîd neslinden Mûsa Şefik Efendi'nin şecere ve icâzetnâmesi ise aile nesebi ile ilmî isnadın aynı belge üzerinde nasıl bir araya geldiğini göstermesi bakımından örnek olay olarak değerlendirilecektir.

1. Nesep ve Seyyidlik Şecerelerinin Kavramsal ve Kurumsal Çerçevesi

Arapça "neseb", bir kimsenin atalarıyla olan soy bağını ve mensubiyet zincirini ifade etmektedir. Şecere ise sözlükte "ağaç" anlamına gelmekte olup bir ailenin nesiller boyunca devam eden soy ilişkilerini gösteren kayıtları tanımlamaktadır. Osmanlı belgelerinde ve ilgili literatürde şecerenin yanı sıra nesebnâme, silsilenâme, soy kütüğü ve bazı durumlarda nesep hücceti gibi terimler de kullanılmaktadır. Şecerenin ağaç biçiminde tasvir edilmesinde kök ortak atayı, gövde neslin sürekliliğini, dallar ise farklı aile kollarını temsil etmektedir. Bununla birlikte şecerelerin tamamı görsel bir soy ağacı biçiminde düzenlenmemiştir. Osmanlı arşiv belgelerinde soy zinciri çoğu zaman "fulân b. fulân" şeklinde metin içerisinde sıralanmaktadır. Dolayısıyla şecerenin temel özelliği, görsel biçiminden ziyade nesiller arasındaki soy bağını belirli bir silsile içerisinde ortaya koymasıdır (Dönmez, 2006, s. 573-575; Fayda, 1995, s. 244).

Seyyidlik şecerelerinin temelini Hz. Peygamber'in ailesiyle kurulan nesep bağı oluşturmaktadır. Osmanlı literatüründe seyyid, şerif, Ehl-i Beyt, evlâd-ı Resûl ve sâdât-ı kirâm gibi kavramlar birbiriyle ilişkili anlamlarda kullanılmıştır. Hz. Hasan'ın soyundan gelenler için "şerif", Hz. Hüseyin'in soyundan gelenler için "seyyid" şeklinde bir ayrım yapılabilmekle birlikte Osmanlı uygulamasında seyyid kavramı her iki soyu da kapsayacak biçimde kullanılmıştır (Işık, 2021, s. 45-46).

Hz. Peygamber'in nesline duyulan hürmet, erken İslâm tarihinden itibaren siyasî ve toplumsal gelişmelerle birlikte şekillenmiştir. Emevî ve Abbâsî dönemlerindeki siyasî mücadeleler, Ehl-i Beyt mensuplarının farklı coğrafyalara yayılması ve zamanla geniş bir sâdât topluluğunun oluşması, nesebin tespitini önemli hâle getirmiştir. Osmanlılar da bu tarihî mirası devralarak seyyid ve şeriflerin işlerini takip eden kurumsal yapıyı kendi idarî sistemleri içerisinde geliştirmiştir. Bu çerçevede Nakîbü'l-eşrâflık, seyyid ve şeriflerin kayıtlarını tutmak, nesep iddialarını incelemek, sahih nesep ile asılsız iddiaları birbirinden ayırmak ve sâdâtın çeşitli meseleleriyle ilgilenmek üzere merkezî bir otorite işlevi görmüştür (Sarıcık, 2003, s. 5-6).

Seyyidlik şecerelerinin resmî nitelik kazanmasında Nakîbü'l-eşrâfın tasdiki önemli bir yere sahiptir. Siyâdet hücceti, kişinin Hz. Peygamber'in nesline mensubiyetinin yetkili makam tarafından kabul edildiğini gösteren belgedir. Bu hüccetler mevcut şecereler, önceki nesep kayıtları, aile büyüklerine ait hüccetler, şahitlikler ve Nakîbü'l-eşrâflık defterlerindeki bilgiler esas alınarak düzenlenebilmiştir. Bu bakımdan şecere ile siyâdet hücceti birbirini tamamlayan

ancak işlevleri bakımından farklılaşan belgelerdir. Şecere soy zincirini ortaya koyarken siyâdet hücceti bu zincire dayanan nesep iddiasının yetkili makam tarafından tasdik edildiğini göstermektedir (Işık, 2016, s. 132; Işık, 2021, s. 389).

Seyyidlik belgelerinin önemini artıran hususlardan biri, bu statünün toplumsal ve idarî sonuçlarıdır. Osmanlı uygulamasında sâdâtın belirli vergi yükümlülüklerinden muaf tutulması, teşrifatta farklı bir konuma sahip olması, yeşil sarık veya yeşil alâmet gibi sembollerle tanınması ve bazı dönemlerde maddî tahsislerden yararlanması, nesep iddialarının somut sonuçlar doğurmasına yol açmıştır. Bu imkânlar, seyyid olmadığı hâlde seyyidlik iddiasında bulunulmasını ifade eden müteseyyidlik meselesini de gündeme getirmiştir. Dolayısıyla seyyidlik statüsünü haksız biçimde kullananlar veya nesep iddiaları sahih bulunmayanlar, kurumsal denetimin konusu olmuştur (Sarıcık, 2003, s. 178-179).

Seyyidlik şecereleri bu bağlamda aile hafızasının korunması, nesep aidiyetinin toplumsal düzeyde görünür kılınması ve resmî statünün belgelendirilmesi bakımından üç temel işlev üstlenmektedir. Bu özellikler, seyyidlik şecerelerini sahâbe soyuna ait şecerelerden ayıran başlıca hususlardır. Sahâbe nesline mensubiyet de önemli bir toplumsal itibar kaynağı olmakla birlikte seyyidlikte olduğu gibi özel bir kurum tarafından yürütülen ve belirli hukukî sonuçlarla ilişkilendirilen genel bir statü sistemine dönüşmemiştir (Yıldız, 2021, s. 77-78).

2. Seyyidlik Şecerelerinin Diplomatik Özellikleri ve Kurumsal Tasdiki

Seyyidlik şecerelerinin tarihî kaynak olarak değerlendirilmesinde belgelerin diplomatik yapısının incelenmesi önem taşımaktadır. Şecere ve siyâdet hüccetlerinde soy zincirinin yanı sıra belgenin kim tarafından, hangi tarihte, hangi gerekçeyle ve hangi yetkiye dayanılarak düzenlendiği de dikkate alınmalıdır. Besmele, hamdele ve salvele gibi dinî başlangıç ifadeleri; kişinin adı, lakabı ve ikamet yeri; nesebin Hz. Hasan veya Hz. Hüseyin koluna bağlanması; önceki hüccet ve şecerelere yapılan atıflar; şahitler, nakîb veya kaymakam tasdiki, mühür ve tarih gibi unsurlar, belgenin diplomatik özelliklerini ve güvenilirliğini değerlendirmede belirleyicidir (Işık, 2016, s. 129-135).

Siyâdet hüccetleri ve seyyidlik şecereleri, Osmanlı coğrafyasında nesep mensubiyetinin kayıt altına alınması ve tasdik edilmesinde önemli bir işlev üstlenmiştir. Bu belgelerin düzenlenmesi ve denetlenmesi, merkezde Nakîbü'l-eşrâflık, taşrada ise Nakîbü'l-eşrâf kaymakamları tarafından yürütülen kurumsal işlemlerle ilişkilidir. Kaymakamlar, görev yaptıkları bölgelerde seyyidlerin nesep kayıtlarını takip etmiş, seyyidlik iddialarını incelemiş ve gerçeğe aykırı mensubiyet iddialarını merkezî makamlara bildirmiştir. Bu uygulamalar, seyyidlik belgelerinin yalnızca aile nesebini gösteren kayıtlar olmadığını, aynı zamanda nesep iddialarının kurumsal denetiminde kullanılan belgeler olduğunu ortaya koymaktadır (Işık, 2026, s. 987–988).

Mühürler, seyyidlik şecerelerinin tasdikinde ve meşruiyetinin desteklenmesinde önemli bir yere sahiptir. Nakîbü'l-eşrâf, kaymakam, kadı, müftü veya tanınmış bir âlime ait mühürler, belgenin ilgili kişiler tarafından onaylandığını göstermektedir. Tasdiklerin farklı tarihlerde yenilenmesi ise şecerelerin sonraki dönemlerde de kullanılabildiğine işaret etmektedir. Ailenin başka bir bölgeye yerleşmesi, yeni bir göreve tayin veya nesep statüsünün yeniden ispatını gerektiren durumlarda önceki şecerelerin suretleri çıkarılabilmekte ve belgelere yeni tasdikler eklenebilmektedir. Böylece aynı belge üzerinde farklı dönemlere ait onay ve doğrulama kayıtları bir araya gelebilmektedir (Yıldız, 2022).

Seyyidlik şecerelerinin diplomatik özellikleri, bu belgeleri aile tarihinin yanı sıra Osmanlı kurumlar tarihi açısından da önemli bir kaynak hâline getirmektedir. Şecereler, devletin seyyidlerin nesep iddialarını hangi belgeler ve usuller üzerinden değerlendirdiğini, hangi tasdikleri geçerli kabul ettiğini ve merkez-taşra ilişkilerini nasıl yürüttüğünü incelemeye imkân sağlamaktadır. Nakîbü'l-eşrâf kaymakamlarının vilayet, sancak ve kazalarda yürüttüğü

işlemler, yerel nesep bilgilerinin merkezî kayıt ve denetim sistemiyle ilişkilendirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bu yönüyle seyyidlik şecereleri, aileye ait nesep bilgilerinin kurumsal düzeyde tanınmasını ve belgelenmesini sağlayan tarihî kaynaklar arasında yer almaktadır.

3. Sahâbe Soyu Şecerelerinin Kaynakları ve İşlevleri

Sahâbe soyuna ait şecereler, Hz. Peygamber'i görmüş, ona iman etmiş ve Müslüman olarak vefat etmiş sahâbîlerden birine dayandırılan nesep kayıtlarıdır. Bu belgeler, yaşayan kişi veya aile kollarını isimler zinciri aracılığıyla geçmişteki ortak bir ataya bağlamaları bakımından seyyidlik şecereleriyle benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte seyyidlik şecerelerinde nesep Hz. Peygamber'in soyuna dayandırılırken sahâbe şecerelerinde onun ashâbından birine dayandırılmaktadır. Bu farklılık, söz konusu belgelerin toplumsal ve hukukî işlevlerini de etkilemektedir (Efendioğlu, 2008, s. 491).

Sahâbe soyuna mensubiyet yalnızca müstakil şecereler üzerinden takip edilmemektedir. Nisbe ve aile adları, biyografi eserleri, mezar kitabeleri, vakfiyeler, icâzetnâmeler, mahkeme kayıtları ve XIX. yüzyılın sonlarından itibaren tutulan Sicill-i Ahvâl dosyaları da bu konuda önemli kaynaklar arasındadır. Şeyhülislâmlık bünyesindeki Sicill-i Ahvâl İdaresi tarafından ilmiye mensuplarının doğum, eğitim, görev, rütbe ve aile bilgilerinin kaydedilmesi, sahâbe soyuna ilişkin beyanların da bürokratik kayıtlara yansımasına imkân sağlamıştır (Sarıyıldız, 2004, s. 25-30; Akpınar, 2000, s. 393).

Sahâbe soyuna mensubiyetin izlenmesinde nisbeler önemli bir yere sahiptir. Hâlidî, Fârûkî ve Sıddîkî gibi nisbeler, belirli sahâbîlerle kurulan aile bağlarının toplumsal düzeyde ifade edilmesini sağlayabilmektedir. Bununla birlikte bir nisbenin kullanılması, tek başına kesintisiz biyolojik nesebin kesin delili olarak kabul edilemez. Zira nisbeler soy bağı yanında coğrafî aidiyet, manevî intisap veya farklı mensubiyet ilişkilerini de ifade edebilmektedir. Bu nedenle sahâbe soyuna ilişkin iddiaların değerlendirilmesinde şecereler, aile belgeleri ve bağımsız tarihî kayıtların birlikte incelenmesi gerekmektedir (Yıldız, 2026b, s. 313–315).

Sahâbe soyuna ait şecerelerin başlıca işlevlerinden biri, aile kimliğini tarihî bir kökene dayandırmaktır. Bir sahâbîye nispet edilmek, ailenin İslâm'ın ilk nesliyle kurduğu bağı görünür kılmaktadır. Özellikle ilmiye ailelerinde bu mensubiyetin ilmî gelenekle birleşmesi, aile kimliğinin temsilinde ayrı bir önem taşımaktadır. Nesep silsilesi aileye ait soy bağını ortaya koyarken icâzet isnadı ilmî aktarım zincirini göstermektedir. Mûsa Şefik Efendi'nin şecere ve icâzetnâmesi, aile nesebi ile ilmî isnadın aynı belge grubu içerisinde bir araya gelebildiğini göstermesi bakımından dikkat çekicidir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730).

Sahâbe soyuna mensubiyet, genel olarak seyyidlikte olduğu gibi belirli vergi muafiyetleri veya seyyidlere özgü teşrifat uygulamalarıyla ilişkilendirilmemiştir. Bu nedenle sahâbe şecerelerinin meşruiyet işlevi, özel bir hukukî statünün elde edilmesinden ziyade aile kimliğinin, ilmî itibarın ve yerel toplumsal konumun korunmasıyla ilişkilidir. Belirli ailelerin siyasî veya toplumsal nüfuz sahibi olması mümkün olmakla birlikte bu durum, sahâbe neslinden gelen bütün aileler için ortak ve standartlaştırılmış bir hukukî statünün bulunduğu anlamına gelmemektedir (Yıldız, 2023b, s. 320–325).

Bu çerçevede sahâbe soyuna ait şecereler, ailelerin tarihî aidiyetlerini ve toplumsal itibarlarını belgeleyen kaynaklar olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte bu belgelerin resmî kayıtlarda yer alması veya yetkili kişiler tarafından tasdik edilmesi, nesep iddiasının her durumda devlet tarafından kesin biçimde doğrulandığı anlamına gelmemektedir. Sicill-i Ahvâl dosyalarına eklenen veya kadı ve müftü tasdiki taşıyan şecereler, belirli idarî işlemlerde belge niteliği taşıyabilmektedir. Seyyidlik şecereleriyle aralarındaki temel farklılık, sahâbe soyuna mensubiyetin Nakîbü'l-eşrâflık tarafından yürütülen özel bir statü ve nesep denetimi sistemine bağlı olmamasıdır. Dolayısıyla seyyidlikte nesep, kurumsal statünün belirlenmesinde öne

çıkarken sahâbe soyunda daha çok aile kimliği, ilmî itibar ve tarihî aidiyetin temsilinde önem kazanmaktadır (Işık, 2016, s. 129-135).

4. Hâlid b. Velîd Neslinden Mûsa Şefik Efendi'nin Şecere ve İcâzetnâmesi

Mûsa Şefik Efendi'nin şecere ve icâzetnâmesi, sahâbe soyuna mensubiyetin Osmanlı'nın son döneminde nasıl temsil edildiğini gösteren önemli bir örnektir. 1271 (1854–1855) yılında Kudüs'ün Rûmiye kasabasında doğan Mûsa Şefik Efendi, ilmiye çevresine mensup bir ailede yetişmiş ve Kudüs Mahkeme-i Şer'iyyesi'nde kâtiplik ve başkâtiplik görevlerinde bulunmuştur. Anne ve baba tarafından Hâlidî sülalesiyle bağlantılı olması ve ailesinin ilmiye geleneği içerisinde yer alması, nesep aidiyeti ile meslekî geleneğin aile içerisinde birlikte sürdürüldüğünü göstermektedir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730, 1. belge).

Mûsa Şefik Efendi'nin nesebi, şeceresinde Hz. Peygamber'in sahâbîlerinden Hâlid b. Velîd'e dayandırılmaktadır. Bu soy zinciri, Mûsa Şefik Efendi'nin Hâlid b. Velîd'le kurulan aile bağının yanı sıra Hâlid b. Velîd'in Kureyş içerisindeki nesep bağlantısını da ortaya koymaktadır. Dosyada yer alan belgenin dikkat çekici özelliği, yalnızca aile nesebine ilişkin bilgilerle sınırlı kalmamasıdır. Arapça düzenlenen belgede farklı tarihlerde çeşitli kişilere ait imza ve mühürlerin bulunması ve ilmî rivayet zincirleri ile aile nesebinin aynı metin içerisinde yer alması, nesep kaydı ile icâzetnâme geleneğinin bir arada bulunabildiğini göstermektedir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730, 2. belge).

Belgenin ilk bölümlerinde Mûsa Şefik Efendi'nin ailesi ve Hâlidî nesebi belirtilirken sonraki bölümlerinde hadis rivayetine ilişkin icâzet zincirlerine yer verilmektedir. Böylece aile nesebi ile ilmî isnadın temsil ettiği iki farklı süreklilik biçimi ortaya çıkmaktadır. Nesep silsilesi Mûsa Şefik Efendi'nin soyunu Hâlid b. Velîd'e bağlarken ilmî isnad, hoca-talebe ve râvi zinciri üzerinden Hz. Peygamber'e ulaşmaktadır. Bu iki silsilenin aynı belgede yer alması, aile aidiyeti ile ilmî ehliyetin kişinin toplumsal ve meslekî kimliğinin temsilinde birbirini tamamlayan unsurlar olduğunu göstermektedir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730, 3. belge).

Mûsa Şefik Efendi'ye ait belgelerin Şeyhülislâmlığa bağlı Sicill-i Ahvâl İdaresi kayıtlarında muhafaza edilmesi, sahâbe soyuna ilişkin aile belgelerinin Osmanlı bürokratik kayıtlarına nasıl intikal ettiğini göstermektedir. XIX. yüzyılın sonlarında ilmiye mensuplarının özlük bilgilerinin sistematik biçimde kaydedilmesi, aile nesebine ilişkin belgelerin de bu dosyalarda korunmasına imkân sağlamıştır. Böylece sahâbe soyuna mensubiyet, yalnızca aile çevresinde sürdürülen bir aidiyet olmaktan çıkmadan, ilmiye mensuplarının biyografik bilgilerinin bir parçası olarak resmî kayıtlarda da görünür hâle gelmiştir (Yıldız, 2023a, s. 542–549).

Mûsa Şefik Efendi'ye ait belgeler, sahâbe soyuna mensubiyetin aile çevresinin ötesinde ilmiye ve bürokrasi alanlarında nasıl temsil edildiğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Belgelerde farklı kişilere ait imza ve mühürlerin bulunması, nesep ve icâzet kayıtlarının çeşitli ilmî çevrelerde dolaşıma girdiğine ve belirli tasdik süreçlerinden geçtiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte söz konusu tasdiklerin kapsamı ve mahiyeti, belge üzerindeki kayıtların düzenlenme tarihleri ve ilgili kişilerin konumları dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Böylece Mûsa Şefik Efendi örneği, sahâbe soyuna dayandırılan aile kimliğinin yalnızca nesep zinciriyle değil, belgenin kullanımı, muhafazası ve ilmî çevrelerle kurduğu ilişkiler üzerinden de temsil edildiğini ortaya koymaktadır (Yıldız, 2026a, s. 241–250).

5. Seyyidlik ve Sahâbe Soyu Şecerelerinin Karşılaştırılması

Seyyidlik ve sahâbe soyuna ait şecerelerin temel ortaklığı, geçmiş ile bugün arasında nesep bağı kurmalarıdır. Her iki belge grubunda da yaşayan kişi veya aileden hareketle isimler zinciri üzerinden geçmişteki ortak ataya ulaşılmaktadır. Bu silsile, nesebin kuşaklar boyunca devamlılığını yazılı olarak ortaya koyarken mühür, tasdik, tarih ve arşiv kayıtları belgenin kabulünü ve güvenilirliğini destekleyen unsurlar arasında yer almaktadır. Dolayısıyla her iki

şecere geleneğinde aile hafızası ile yazılı belgelendirme birbirini tamamlamaktadır (MŞH, SAİD, 69/3, 611/A).

Her iki şecere türünün ortak özelliklerinden biri de nesebin kimlik ve toplumsal itibarın temsilinde önemli bir yere sahip olmasıdır. Seyyidlikte Hz. Peygamber'in ailesine mensubiyet, sahâbe soyunda ise İslâm'ın ilk nesline ve belirli bir sahâbîye dayanan aile aidiyeti öne çıkmaktadır. Her iki durumda da soyun dayandırıldığı tarihî şahsiyetin dinî ve toplumsal itibarı, sonraki kuşakların kimliklerini ifade etme biçimlerini etkilemektedir. Bununla birlikte seyyidlik Ehl-i Beyt ve evlâd-ı Resûl kavramları üzerinden doğrudan Hz. Peygamber'in nesline dayanırken sahâbe soyu, onunla aynı dönemde yaşamış ilk Müslüman neslin mensuplarına dayanmaktadır (MŞH, SAİD, 15/6, 117/A).

İki belge grubu arasındaki temel farklılıklardan biri, nesebin doğrulanmasında izlenen kurumsal süreçlerdir. Seyyidlik, Nakîbü'l-eşrâflık kurumunun görev alanında yer almış, nesep iddiaları incelenmiş, siyâdet hüccetleri düzenlenmiş, ilgili defterlere kayıtlar yapılmış ve gerektiğinde teftişler gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık sahâbe soyuna mensubiyetin tespit ve denetiminden sorumlu, Osmanlı coğrafyasının tamamını kapsayan benzer bir kurumsal teşkilat bulunmamaktadır. Sahâbe soyuna ilişkin belgeler ise aile kayıtları, âlimlerin tasdikleri, kadı ve müftü mühürleri, yerel tanınırlık ve geç Osmanlı döneminde Sicill-i Ahvâl dosyaları gibi farklı kaynaklar üzerinden izlenebilmektedir.

Bir diğer farklılık, nesep mensubiyetinin hukukî sonuçlarında görülmektedir. Seyyidlik, belirli dönem ve bölgelerde vergi muafiyetleri, teşrifat uygulamaları, kıyafet alâmetleri ve seyyidlere özgü bazı düzenlemelerle ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle gerçeğe aykırı seyyidlik iddiaları, idarî ve malî bakımdan da önem taşımıştır. Sahâbe soyuna mensubiyet ise genel ve standartlaştırılmış bir hukukî imtiyaz sistemine bağlanmamıştır. Hâlidî, Fârûkî veya Sıddîkî ailelerin toplumsal itibarı ve nüfuzu bulunabilmekle birlikte bu durum, söz konusu ailelerin bütün mensuplarına ortak hukukî ayrıcalıklar tanındığı anlamına gelmemektedir (Sarıyıldız, 2009, s. 134).

Nesep iddialarının denetimi bakımından da iki belge grubu arasında farklılık bulunmaktadır. Seyyidliğin toplumsal, sembolik ve maddî sonuçları, gerçeğe aykırı siyâdet iddialarını ifade eden müteseyyidlik meselesini önemli hâle getirmiştir. Nakîbü'l-eşrâflık tarafından yürütülen inceleme ve teftişler, sahih olmayan nesep iddialarının tespit edilmesini amaçlamıştır. Sahâbe soyuna ilişkin şecerelerde de gerçeğe aykırı veya sonradan oluşturulmuş soy zincirleriyle karşılaşılması mümkündür. Ancak bu tür iddiaların denetimi, seyyidlikte olduğu gibi müstakil bir merkezî kurumun sürekli görevleri arasında yer almamıştır. Bu nedenle sahâbe soyuna ait şecerelerin tarihî güvenilirliğinin değerlendirilmesinde bağımsız kaynaklarla karşılaştırılması önem taşımaktadır (MŞH, SAİD, 225/14, 3730).

Belge terminolojisi, karşılaştırmanın bir diğer boyutunu oluşturmaktadır. Seyyidlik belgelerinde siyâdet hücceti, sâdât, Nakîbü'l-eşrâf, şerif ve seyyid gibi kurumsal ve hukukî anlam taşıyan terimler öne çıkmaktadır. Sahâbe soyuna ilişkin belgelerde ise nisbe ve aile adları daha belirgin bir yere sahiptir. Hâlidîzâde, Fârûkî ve Sıddîkî gibi adlandırmalar, ailelerin belirli sahâbîlerle kurdukları nesep ilişkilerini ifade edebilmektedir. Bununla birlikte şecere, nesebnâme ve silsilenâme gibi genel belge adları her iki nesep geleneğinde de kullanılmaktadır (MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B).

Seyyidlik ve sahâbe soyuna mensubiyetin toplumsal görünürlüğü de farklı biçimlerde gerçekleşmiştir. Seyyidlik statüsü, yeşil sarık ve benzeri alâmetler aracılığıyla gündelik ve törensel hayatta görünür hâle gelebilmiştir. Sahâbe soyuna mensubiyet için ise benzer şekilde standartlaştırılmış bir kıyafet alâmeti bulunmamaktadır. Bu mensubiyet daha çok isim, nisbe, aile şöhreti, mezar kitabeleri, vakıflar ve ilmî kurumlarla ilişkili kayıtlar üzerinden temsil

edilmiştir. Kudüs Hâlidî ailesinin ilmî ve idarî görevleri ile Hâlidiye Kütüphanesi çevresindeki faaliyetleri, sahâbe soyuna dayandırılan aile kimliğinin yerel düzeydeki görünürlüğüne örnek oluşturmaktadır (Yıldız, 2025, s. 238-240).

Bununla birlikte iki şecere geleneği arasındaki farklılıklar, ortak tarihî işlevlerini göz ardı etmeyi gerektirmemektedir. Her iki belge grubu da nesebin aile çevresinin ötesinde toplumsal ilişkilerde anlam taşıdığını göstermektedir. Şecereler, biyografik bilgilerin yanı sıra ailelerin coğrafî hareketliliğinin, evlilik ilişkilerinin, ilmiye içerisindeki sürekliliğinin ve yerel seçkinlik yapılarının araştırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Ayrıca seyyidlik ve sahâbe soyuna ilişkin bilgilerin Sicill-i Ahvâl kayıtlarında yer alabilmesi, geç Osmanlı bürokrasisinin farklı nesep aidiyetlerini ortak bir personel kayıt sistemi içerisinde belgelediğini göstermektedir.

Karşılaştırma sonucunda, seyyidlik ve sahâbe soyuna ait şecerelerin biçimsel benzerliklerine rağmen aynı kurumsal ve hukukî işlevlere sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Seyyidlikte nesebin tahkik ve tasdiki, özel bir kurumsal statünün tanınmasıyla ilişkili olabilirken sahâbe soyuna mensubiyet daha çok aile kimliği, ilmî itibar ve tarihî aidiyetin belgelenmesinde öne çıkmaktadır. Dolayısıyla şecerelerin tarihî kaynak olarak değerlendirilmesinde yalnızca soy zincirlerinin varlığına değil, belgelerin düzenlenme amaçlarına, tasdik süreçlerine ve kullanıldıkları idarî ve toplumsal bağlamlara da dikkat edilmelidir.

6. Nesep İddialarının Doğrulanması ve Şecerelerin Tarihî Kaynak Değeri

Nesep iddialarının tarihî güvenilirliği, soy zincirinin dayandırıldığı şahsiyetin itibarı veya belgenin resmî niteliğiyle sınırlı biçimde değerlendirilemez. Bu değerlendirmede nesep silsilesinin kronolojik tutarlılığı, belgeyi düzenleyen ve tasdik eden kişilerin yetkileri, önceki kayıtlarla bağlantısı ve bağımsız tarihî kaynaklarla desteklenme derecesi belirleyici ölçütlerdir. Osmanlı seyyidlik sisteminde tutulan kayıtlar, nesep iddialarının kurumsal süreçler içerisinde nasıl değerlendirildiğini göstermesi bakımından önem taşımakla birlikte bu kayıtların tarihî kaynak değeri, oluşturuldukları bağlam ve dayandıkları deliller dikkate alınarak incelenmelidir (Işık, 2021, s. 187–189).

Arşiv kayıtları, nesep iddialarının hem desteklenmesine hem de denetlenmesine imkân sağlamaktadır. Önceki kayıtlarda yer alan bilgiler, yeni başvuruların değerlendirilmesinde dayanak oluştururken mevcut belgelerin karşılaştırılmasına da yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte bir nesep iddiasının arşivde kayıtlı olması, tarihî güvenilirliğinin ayrıca incelenmesi gereğini ortadan kaldırmamaktadır. Bu nedenle kayıtların hangi tarihte, hangi beyan ve belgelere dayanılarak oluşturulduğu, önceki bir belgenin sureti olup olmadığı ve sonraki incelemelerde nesep iddiasının geçerliliğini koruyup korumadığı araştırılmalıdır (Yurdakul & Aydın, 2014, ss. 386–387).

Sahâbe soyuna ilişkin nesep iddiaları ise seyyidlikte olduğu gibi müstakil bir merkezî kurum tarafından değerlendirilmediğinden farklı belge ve tanıklıklar üzerinden izlenmektedir. Aile şecereleri, yerel âlimlerin tasdikleri, kadı kayıtları, vakfiyeler, mezar kitabeleri, biyografi eserleri ve Sicill-i Ahvâl belgeleri, birbirini destekledikleri ölçüde nesep iddiasının tarihî güvenilirliğini artırmaktadır. Mûsa Şefik Efendi'nin şeceresinde farklı kişilere ait mühürlerin bulunması ve aile nesebinin ilmî icâzet zincirleriyle birlikte kaydedilmesi, bu tür belgelerin farklı çevrelerde tanınmasına ve muhafaza edilmesine örnek oluşturmaktadır (MŞH, SAİD, 225/14, 3730, 2. belge).

Bu noktada resmî kayıt ile tarihî doğruluk arasında ayrım yapılmalıdır. Bir belgenin devlet arşivinde bulunması, içerdiği bütün bilgilerin yetkili makamlar tarafından bağımsız biçimde doğrulandığını göstermemektedir. Sicill-i Ahvâl varakalarında kişilerin kendi beyanları da önemli bir bilgi kaynağıdır. Dolayısıyla sahâbe soyuna mensubiyetin personel dosyasında belirtilmesi, söz konusu bilginin bürokratik kayda geçtiğini gösterirken nesep zincirinin bütün

kuşaklarının ayrıca tahkik edildiğini kanıtlamamaktadır. Buna karşılık seyyidler için Nakîbü'l-eşrâflığın görevleri arasında nesep iddialarının tahkik ve tasdikinin bulunması, seyyidlik belgelerinin kurumsal niteliğini farklılaştırmaktadır.

Nesep iddialarının tarihî güvenilirliğinde süreklilik de önemli bir ölçüttür. Şecerelerin farklı kuşaklarda yeniden tasdik edilmesi, aile mensuplarının aynı nisbe ile birbirinden bağımsız kayıtlarda yer alması ve nesep zincirindeki kronolojik boşlukların başka belgelerle desteklenmesi, iddianın güvenilirliğini güçlendirmektedir. Buna karşılık tek nüsha hâlinde bulunan, geç tarihte düzenlenmiş ve dayandığı kaynaklar belirlenemeyen şecerelerin daha ihtiyatlı değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle erken dönem sahâbîlere veya Ehl-i Beyt mensuplarına dayandırılan nesep zincirlerinde önceki dönem kaynaklarıyla bağlantı kurulamaması, belgenin geç dönemdeki aile kimliğini temsil etme değerini ortadan kaldırmamakla birlikte daha eski kuşaklara ilişkin bilgilerin ayrıca incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu yaklaşım, şecerelerin tarihî kaynak değerini azaltmamakta, aksine hangi amaçlarla kullanıldıklarının daha doğru belirlenmesini sağlamaktadır. Şecereler, nesep bağının belgelendirilmesi, hukukî statünün tanınması ve aile hafızasının korunması gibi farklı işlevler üstlenebilmektedir. Bu işlevler kimi zaman aynı belgede bir araya gelmektedir. Dolayısıyla şecerelerin değerlendirilmesinde belgenin düzenlenme amacı, kullanıldığı tarihî bağlam ve dayandığı doğrulama süreçleri birlikte dikkate alınmalıdır.

Sonuç

Bu çalışmada seyyidlik şecereleri ile sahâbe soyuna ait şecereler, nesebin temsili ve meşruiyeti bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma, her iki belge grubunun soyun kuşaklar boyunca devamlılığını ortaya koyan ortak bir nesep anlayışına dayandığını, ancak kurumsal işlevleri ve hukukî sonuçları bakımından farklılaştığını göstermiştir. Her iki şecere geleneğinde de isim, nisbe, unvan, mühür ve tasdik gibi unsurlar aracılığıyla aile kimliği ve tarihî aidiyet görünür kılınmaktadır. Bununla birlikte seyyidlik şecereleri, Hz. Peygamber'in nesline mensubiyetin tespiti ve tasdikiyle ilişkili olarak Osmanlı idarî yapısı içerisinde daha kurumsallaşmış bir belgelendirme sisteminin parçası hâline gelmiştir.

Nakîbü'l-eşrâflık kurumu tarafından yürütülen nesep tahkiki, kayıt ve tasdik işlemleri, seyyidlik iddialarının belirli usuller çerçevesinde değerlendirilmesini sağlamıştır. Siyâdet hüccetleri ve ilgili defterler, bu süreçlerin belgelenmesinde ve önceki nesep kayıtlarının takip edilmesinde önemli bir işlev üstlenmiştir. Seyyidliğin belirli dönemlerde malî, idarî ve teşrifî sonuçlar doğurması, sahih nesep ile gerçeğe aykırı siyâdet iddialarının birbirinden ayrılmasını gerekli kılmıştır. Bu bakımdan seyyidlik şecereleri, aile hafızasının korunmasının yanı sıra nesep mensubiyetinin kurumsal düzeyde tanınması ve belgelendirilmesi açısından da önem taşımaktadır.

Sahâbe soyuna ait şecerelerde ise aile kimliğinin korunması, ilmî itibarın sürdürülmesi ve tarihî aidiyetin belgelenmesi öne çıkmaktadır. Bu nesep iddialarının seyyidlikte olduğu gibi müstakil bir merkezî kurum tarafından denetlenmemesi, sahâbe soyuna ilişkin belgelerin Osmanlı resmî kayıtlarının dışında kaldığı anlamına gelmemektedir. Özellikle Şeyhülislâmlığa bağlı Sicill-i Ahvâl İdaresi kayıtları, sahâbe nesline mensubiyetin ilmiye mensuplarının biyografik ve ailevî bilgileri arasında yer alabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu bilgilerin bürokratik kayıtlarda bulunması ile nesep zincirinin yetkili makamlar tarafından ayrıca tahkik ve tasdik edilmesi birbirinden ayrılmalıdır.

Hâlid b. Velîd neslinden Mûsa Şefik Efendi'ye ait şecere ve icâzetnâme, sahâbe soyuna mensubiyetin aile ve ilmiye çevrelerinde nasıl temsil edildiğini gösteren önemli bir örnektir. Belgede Hâlid b. Velîd'e dayandırılan aile nesebi ile Hz. Peygamber'e ulaşan ilmî rivayet

zincirinin bir arada bulunması, nesep silsilesi ile ilmî isnadın Osmanlı ulemasının kimlik ve itibarının temsilinde birbirini tamamlayan unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte aile nesebi ile ilmî isnadın farklı dayanaklara ve işlevlere sahip olması, bu iki mensubiyet biçiminin birbirinin yerine geçmediğini de göstermektedir.

Araştırmanın temel sonucu, seyyidlik ve sahâbe soyuna ait şecereler arasındaki farklılığın yalnızca nesebin dayandırıldığı tarihî şahsiyetten kaynaklanmadığıdır. Belirleyici olan, nesep iddialarının hangi usullerle değerlendirildiği, hangi merciler tarafından tasdik edildiği ve mensubiyetin hangi toplumsal ve hukukî sonuçlarla ilişkilendirildiğidir. Seyyidlik şecerelerinde kurumsal ve hukukî statünün belgelendirilmesi, sahâbe soyuna ait şecerelerde ise aile kimliği, ilmî itibar ve tarihî aidiyetin korunması daha belirgin işlevler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle her iki belge grubunun aynı ölçütlerle değerlendirilmesi yerine düzenlenme amaçları, tasdik süreçleri ve kullanıldıkları tarihî bağlamlar dikkate alınmalıdır. Böylece şecerelerin nesebin korunmasının yanı sıra Osmanlı toplumunda kimliğin, aidiyetin ve toplumsal meşruiyetin temsilinde önemli işlevler üstlendiği anlaşılmaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda Hâlidî, Fârûkî, Sıddîkî ve diğer sahâbe nisbesi taşıyan ailelere ait şecerelerin Sicill-i Ahvâl dosyaları, şer‘iyye sicilleri, vakfiyeler ve mezar kitabeleriyle birlikte incelenmesi, sahâbe soyuna mensubiyetin toplumsal ve ilmî işlevlerinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Benzer şekilde seyyidlik şecerelerinin farklı Osmanlı coğrafyalarındaki diplomatik özelliklerinin, mühürlerinin ve tasdik süreçlerinin karşılaştırılması, nesep kayıt ve denetim uygulamalarının bölgesel farklılıklarını ortaya koyabilecektir. Bu doğrultuda şecereler, aile tarihinin yanı sıra Osmanlı toplumunda kimlik, kurum ve meşruiyet ilişkilerinin araştırılmasında önemli tarihî kaynaklar olarak değerlendirilebilir.

Kaynakça

Akpınar, C. (2000). İcâzet. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 21, ss. 393–400). TDV Yayınları.

Dönmez, İ. K. (2006). Nesep. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 32, ss. 573–575). TDV Yayınları.

Efendioğlu, M. (2008). Sahâbe. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 35, ss. 491–500). TDV Yayınları.

Fayda, M. (1995). Ensâb. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 11, ss. 244–249). TDV Yayınları.

Işık, A. (2016). Siyâdet hüccetleri ve irşâd icâzetnâmelerinin semantik ve sembolik tahlili. *Alevilik Araştırmaları Dergisi*, (11), 129–179.

Işık, A. (2021). *Meşîhat Arşivi belgeleri ışığında seyyidler ve Nakîbü’l-eşrâflık müessesesi*. İlâhiyât Yayınları.

Işık, A. (2026). The institutional representation and legitimacy of the Ahl al-Bayt in the Ottoman Balkans: Sayyids and the deputies of Naqib al-Ashraf. *Dinbilimleri Akademik Araştırma Dergisi, 26*(2), 973–1001. https://doi.org/10.33415/daad.1911305

Sarıcık, M. (2003). *Osmanlı İmparatorluğu'nda Nakibüleşraflık müessesesi*. Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Sarıyıldız, G. (2004). *Sicill-i Ahvâl Komisyonu’nun kuruluşu ve işlevi (1879–1909)*. Der Yayınları.

Sarıyıldız, G. (2009). Sicill-i Ahvâl Defterleri. *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 37, ss. 134–136). TDV Yayınları.

Yıldız, E. (2021). *Şeyhülislamlık Arşivi belgelerinde ulemanın soy kökenleri ve aile bağları*.

İlahiyat Yayınları.
Yıldız, E. (2022). *Şeyhülislamlığın saklı hazinesi: Bab-ı Fetva mühürleri*. İlahiyat Yayınları.
Yıldız, E. (2023a). Halid b. Velid neslinden Kudüslü âlim ve seyyah Halil Cevad Efendi. *İslâmi Araştırmalar, 34*(2), 534–549.
Yıldız, E. (2023b). Hz. Halid b. Velid neslinden Musa Şefik Efendi'nin şeceresi ve icâzetnâmesinin tahlili. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 10*(4), 320–343.
Yıldız, E. (2025). Osmanlı Devleti'nde soybilim/jeneoloji arşiv kaynakları. *3. Uluslararası Üsküdar Bilimsel Araştırmalar Kongresi Kitabı* (ss. 237–247). İKSAD Yayınları.
Yıldız, E. (2026a). Osmanlı ulemasının icâzetnâmeleri. *5. Uluslararası Avrasya Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi Kitabı* (ss. 241–251). İKSAD Yayınları.
Yıldız, E. (2026b). Osmanlı ulemasının şecereleri. *3. Uluslararası Beykoz Bilimsel Araştırmalar Kongresi Kitabı* (ss. 313–323). İKSAD Yayınları.
Yurdakul, İ., & Aydın, B. (2014). Şeyhülislamlık kurumunun tarihçesi, kaynaklar ve ilgili literatür. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi, 12*(23), 379–417.

Arşiv Kaynakları

İstanbul Müftülüğü Meşîhat Arşivi (MŞH), Sicill-i Ahvâl İdaresi (SAİD):
MŞH, SAİD, 15/6, 117/A; MŞH, SAİD, 69/3, 611/A; MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B; MŞH, SAİD, 225/14, 3730

ÖLÇÜM GÜRÜLTÜSÜ VE HABERLEŞME GECİKMESİ ALTINDA PEMFC–BATARYA DESTEKLİ ŞEBEKEDE MIT KURALI TABANLI ADAPTİF PI İLE FREKANS KONTROLÜ

Dr. Erdi YILDIZ
Kayseri University, Vocational School of Information Technologies, 38280, Talas, Kayseri
ORCID ID: 0009-0006-1765-2779

ÖZET

Güç sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı arttığı zaman eşdeğer atalet azalırken, ani yük değişimlerinde ise frekans sapmaları artar. Bu çalışmada sanal atalet ve sanal droop uygulanan proton değişim zarlı yakıt pili (PEMFC) ve batarya enerji depolama sistemiyle desteklenen bir güç sistemine frekans değişimini kontrol etmek için Model Referans Adaptif Kontrol (MRAC) tabanlı adaptif PI eklenmiştir. Kazançların büyük güç dengesizliklerinde artması ve olay sona erdiğinde normale dönmesi için uyarlama yasası ±0,033 Hz ölü bant ve σ-sızıntı terimiyle güçlendirilmiştir. Simülasyonlar MATLAB/Simulink R2025b ortamında 0,1 s haberleşme gecikmesi, frekans ölçüm gürültüsü ve 2 MW/s PEMFC rampa sınırı altında gerçekleştirilmiştir. Önerilen adaptif PI kontrolcü, yalnızca sanal kontrol, düşük kazançlı PI ($K_p = 20$, $K_i = 20$) ve yüksek kazançlı PI ($K_p = 50$, $K_i = 25$) yapılarıyla basamak yük, düşük atalet ($\eta = 0{,}5$) ve bir saatlik rastgele yük senaryolarında karşılaştırılmıştır. Sistem gücünün %10'u kadar büyüklükteki (15 MW) yükte adaptif PI tepe frekans sapmasını 0,103 Hz ile sınırlamış, düşük kazançlı PI'ya göre %22 azaltmıştır. Frekansın 49,967 Hz ile 50,033 Hz arasına dönüş süresi 1,59 s olup her iki sabit PI yapısından da %24-38 daha kısadır. Rastgele yük altında ise adaptif PI kontrolcü düşük kazançlı PI'ya göre Δf_{rms} değerini %27, tepeden tepeye frekans değişimini %29 azaltmıştır. Yüksek kazançlı PI ile aynı frekans sapması performansını göstermiş fakat bataryanın toplam güç değişimini %61 azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Frekans kontrolü, PEMFC, batarya enerji depolama sistemi, model referans adaptif kontrol, MIT kuralı, sanal atalet

FREQUENCY CONTROL IN A PEMFC–BATTERY-BACKED GRID USING MIT RULE-BASED ADAPTIVE PI UNDER MEASUREMENT NOISE AND COMMUNICATION DELAY

ABSTRACT

As the share of renewable energy sources in power systems increases, equivalent inertia decreases, while frequency deviations increase during sudden load changes. In this study, an adaptive PI based on Model Reference Adaptive Control (MRAC) was added to a power system supported by a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) and a battery energy storage system, to which virtual inertia and virtual droop were applied, in order to control frequency variations. To ensure that the gains, which increase during large power imbalances, return to normal once the event ends, the adaptation law has been enhanced with a ±0.033 Hz dead band and a σ-leakage term. Simulations were performed in the MATLAB/Simulink R2025b environment under conditions of a 0.1 s communication delay, frequency measurement noise, and a 2 MW/s PEMFC ramp limit. The proposed adaptive PI controller was compared with virtual-only control, low-gain PI ($K_p = 20$, $K_i = 20$), and high-gain PI ($K_p = 50$, $K_i = 25$) configurations under step load, low-inertia (η=0.5), and one-hour random load scenarios. Under a load equal to 10% of the system power (15 MW), the adaptive PI controller limited the peak

frequency deviation to 0.103 Hz, reducing it by 22% compared to the low-gain PI controller. The time to return the frequency to the range between 49.967 Hz and 50.033 Hz was 1.59 s, which is 24–38% shorter than that of both fixed PI control structures. Under random load conditions, the adaptive PI controller reduced the Δf_{rms} value by 27% and the peak-to-peak frequency variation by 29% compared to the low-gain PI controller. It demonstrated the same frequency deviation performance as the high-gain PI controller but reduced the battery's total power variation by 61%.

Keywords: Frequency control, PEMFC, battery energy storage system, model-reference adaptive control, MIT rule, virtual inertia

1. INTRODUCTION

In traditional power grids, grid inertia is provided by the stored kinetic energy of the rotating masses of the synchronous generators connected to the grid. As renewable energy sources are integrated into the grid, both the share of synchronous generators in the grid and the inertia of their rotating masses decrease (Fernández-Guillamón et al. 2019). As inertia decreases, the frequency drops more rapidly, and a deeper frequency dip forms (Zhou et al. 2024). When the proportion of renewable energy sources exceeds a certain threshold, the frequency dip deepens, increasing the risk of protection systems—primarily Under-Frequency Load Shedding (UFLS) and Rate of Change of Frequency (RoCoF) relays—tripping (Njoka et al. 2024).

Due to reasons such as industrial history, widespread use, and structural simplicity, PI and PID architectures are the most common solutions used in load frequency control (Rasolomampionona et al. 2024). The gain parameters of these controllers are optimized using methods such as symbiotic organism search, whale optimization, and stochastic fractal search (Yenen Yılmaz et al. 2021; Can et al. 2023; Karayel and Çelik 2024). However, the gain adjustment performed here is specific to a particular operating point and is not updated when inertia changes.

In situations where inertia decreases, battery storage systems can provide frequency support by responding rapidly—on the order of milliseconds—using virtual inertia and virtual droop control (Datta et al. 2020; Xing et al. 2024; Zhou et al. 2025). Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) are also used to support frequency, but the response times of these systems are slower compared to battery storage systems (Alshehri et al. 2019; Salama et al. 2022).

Taking dynamic response times into account, Li et al. (2025) applied virtual droop control to PEMFCs and virtual inertia control to batteries; they developed a frequency model and controlled it using model predictive control (MPC). The performance of model predictive control depends on the accuracy of the system model and the online optimization effort.

Two factors complicate frequency control under actual grid conditions. The first factor is that, due to noise in the frequency measurement, high-gain controllers convert this noise into frequent and rapid power changes (Romero Segovia et al. 2014). These frequent and rapid power changes accelerate the aging of battery storage systems and cause an increase in impedance in lithium-ion cells (Leonardi et al. 2021; Urquizo and Singh 2024). The second factor is that communication delays in the control signals sent by the controller reduce the stability margin and lead to excessive oscillations (Ruan 2023). Consequently, while a high fixed gain improves frequency response, it may overburden the battery; this trade-off has been numerically investigated in this study.

The MIT rule, used in the model-reference adaptive control approach, is an adaptation mechanism that allows the controller parameters to be updated during operation (Mareels et al. 1987). Studies on MRAC-based PID adaptation have been applied to various fields, such as DC

motor control and load frequency control (Yavuzsoy et al. 2023; Tavazoei 2025; Abdel Halim et al. 2025). However, the MIT rule is susceptible to parameter drift under the influence of disturbances and measurement noise (Mareels et al. 1987). To prevent the risk of instability in adaptive control systems, the integration of terms such as the σ-modification has been proposed (Li et al. 2021).

In this study, based on the frequency model developed by Li et al. (2025), a PEMFC ramp limit, communication delay, and measurement noise were added to the model. The contributions of this study are as follows:

- In addition to virtual inertia and droop control, an adaptive PI control structure with gains updated online was incorporated. The MIT rule was used for adaptation.
- The adaptation law has been enhanced with a dead band compatible with the frequency dead band and a σ-leakage term; the gains increase only during large imbalances and return to their nominal values after the event.
- The proposed structure was compared with two fixed PI controllers—one with low gain and one with high gain—not only in terms of frequency quality but also in terms of the total change in battery power.

Section 2 presents the system model and the proposed controller, Section 3 presents the simulation results, and Section 4 concludes the study.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. System Model

The system under study is a single-area power grid consisting of a thermal power plant, a battery with virtual inertia control, and a PEMFC unit with virtual droop control. The model is adapted from the one developed by Li et al. (2025); all quantities are expressed in per-unit values (pu) based on a power of 150 MW and a frequency of 50 Hz.

2.1.1. Frequency Dynamics

The system frequency deviation Δf is obtained by integrating the power imbalance through the equivalent inertia and damping:

$$2H(1-\eta)\frac{d\Delta f}{dt} = \Delta P_m + \Delta P_b + \Delta P_H - \Delta P_L - D\,\Delta f \qquad (1)$$

Here, H is the equivalent inertia constant, η is the renewable energy share, D is the damping coefficient, and ΔP_L is the load disturbance. As η increases, the equivalent inertia $2H(1-\eta)$ decreases.

2.1.2. Thermal Power Plant

The speed governor, turbine, and reheater have been modeled using first-order blocks:

$$\tau_G \frac{d\Delta P_V}{dt} = -\Delta P_V - K_G\,\Delta f, \qquad \tau_{CH}\frac{d\Delta P_T}{dt} = \Delta P_V - \Delta P_T \qquad (2)$$

$$\Delta P_m(s) = \frac{F_{HP}\,\tau_{RH}\,s+1}{\tau_{RH}\,s+1}\,\Delta P_T(s) \qquad (3)$$

2.1.3. Battery and PEMFC

Virtual droop and virtual inertia were applied to the battery, and virtual droop control was applied to the PEMFC (Li et al. 2025). The additional control signal u is distributed between the battery and the PEMFC in the ratio α and (1-α), respectively:

$$\tau_b\frac{d\Delta P_b}{dt} = -K_b\,\Delta f - M_b\frac{d\Delta f}{dt} + \alpha\,u - \Delta P_b \qquad (4)$$

$$\tau_H \frac{d\Delta P_H}{dt} = -K_H \Delta f + (1-\alpha)\, u - \Delta P_H, \qquad \left|\frac{d\Delta P_H}{dt}\right| \le r_H \qquad (5)$$

The battery's state of charge (SoC) is calculated as follows, assuming a discharge with $\Delta P_b > 0$ and time measured in hours:

$$SoC(t) = SoC_0 - \frac{S_{base}}{E_b}\int_0^t \Delta P_b(\tau)\, d\tau \qquad (6)$$

2.1.4. Elements of Realism

Three elements have been added to the basic model. The rate of change of the PEMFC output power is limited to r_H = 2 MW/s. The control signal reaches the units with a delay of τ_d = 0.1 s. White noise with a standard deviation of approximately 0.01 Hz has been added to the frequency measurement observed by the controller:

$$u(t) = u_c(t-\tau_d), \qquad \Delta f_m(t) = \Delta f(t) + n(t) \qquad (7)$$

2.1.5. Parameters

The grid parameters were taken from Li et al. (2025), and the time constants and virtual control coefficients, which were not specified, were selected in this study. The virtual control coefficients were determined to provide a frequency response consistent with that in Li et al. (2025) at a 0.1-pu step load, before any realism factors were added. The parameters are given in Table 1.

Table 1. System and simulation parameters

Parameter	Symbol	Value	Source
Nominal frequency	f_0	50 Hz	Li et al. (2025)
System power base	S_{base}	150 MW	Li et al. (2025)
Equivalent inertia constant	H	9 s	Li et al. (2025)
Damping coefficient	D	1 pu	Li et al. (2025)
Renewable share	η	0.2 (0.5)	Li et al. (2025), this study
Regulation coefficient	K_G	17 pu	Li et al. (2025)
Governor, turbine and reheater time constants	τ_G, τ_{CH}, τ_{RH}	0.08 s; 0.3 s; 10 s	Li et al. (2025)
High-pressure turbine fraction	F_{HP}	0.5	Li et al. (2025)
Battery power / capacity	–	20 MW / 40 MWh	Li et al. (2025)
PEMFC power	–	20 MW	Li et al. (2025)
Battery virtual droop / inertia	K_b / M_b	10 / 2.5 pu	This study
PEMFC virtual droop	K_H	10 pu	This study
Battery / PEMFC time constant	τ_b / τ_H	0.1 s / 0.26 s	This study
Battery share	α	0.6	This study
PEMFC ramp limit	r_H	2 MW/s	This study
Communication delay	τ_d	0.1 s	This study
Initial state of charge	SoC_0	0.5	This study

2.2. Proposed Adaptive PI Controller

The proposed controller is an adaptive PI controller based on model-reference adaptive control, added on top of the virtual inertia and virtual droop controls. This controller updates its gains online according to the MIT rule. The gains change only when the system moves outside the dead band and return to their normal values via a leakage term when the system re-enters the frequency band.

2.2.1. Controller Structure

Since the objective of this study is to maintain the frequency at its nominal value, zero has been taken as the reference. The error and control signals are as follows:

$$e(t) = -\Delta f_m(t), \qquad u_c(t) = \text{sat}\left(K_p(t)\, e(t) + K_i(t) \int_0^t e(\tau)\, d\tau\right) \qquad (8)$$

The saturation block limits u_c to ±0.1333 pu (±20 MW). This value is the sum of the 10 MW frequency reserves allocated to the battery and the PEMFC.

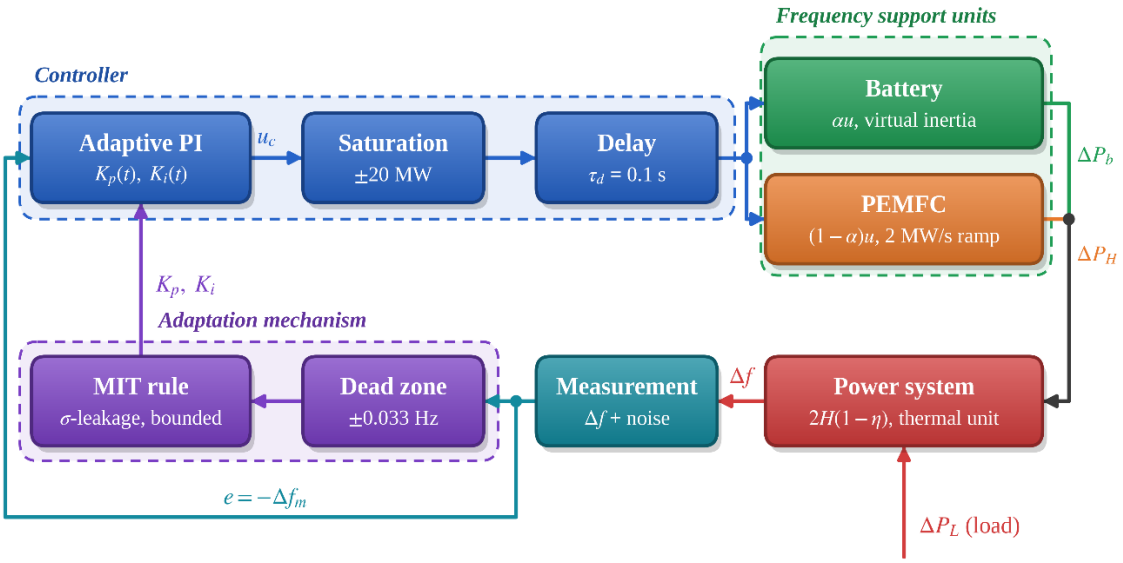


Figure 1. Block diagram of the proposed control architecture. The highlighted boxes indicate the adaptation path; the control path and the adaptation path use the same noisy error signal.

2.2.2. The MIT Rule

The MIT rule updates each parameter along the gradient in a direction that minimizes the criterion J = e²/2 (Mareels et al. 1987):

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma\, e \frac{\partial e}{\partial \theta} \qquad (9)$$

Since sensitivity derivatives cannot be calculated directly in the MIT rule, they are typically obtained approximately using the reference model dynamics, and the unknown process gain is incorporated into the adaptation coefficient (Yavuzsoy et al. 2023). Since the reference was taken as 0 in this study, to simplify the implementation, the reference model dynamics were also neglected, and the derivatives were approximated as $\partial e/\partial K_p \approx -e$ and $\partial e/\partial K_i \approx -\int e\, dt$. This approach yields an adaptation law that increases the gains as the error grows.

2.2.3. Dead Band and Leakage

In the basic MIT rule, the derivative of K_p is proportional to e^2 and is never negative. Under measurement noise and continuous load changes, this leads to an unlimited increase in gain. For this reason, two modifications have been applied to the adaptation law.

First, the adaptation is driven by the dead band error e_a. The dead band width $\delta = 6.6 \times 10^{-4}$ pu corresponds to the 0.033 Hz frequency dead band used in Li et al. (2025):

$$e_a = \begin{cases} e - \delta \operatorname{sgn}(e), & |e| > \delta \\ 0, & |e| \le \delta \end{cases} \qquad (10)$$

Second, the σ-leakage term (Li et al. 2021) pulls the gains toward their nominal values (K_{p0}, K_{i0}). Consequently, the adaptation law takes the following form:

$$\frac{dK_p}{dt} = \gamma_p \, e_a^2 - \sigma \left(K_p - K_{p0}\right), \qquad \frac{dK_i}{dt} = \gamma_i \, e_a \int_0^t e \, d\tau - \sigma \left(K_i - K_{i0}\right) \qquad (11)$$

The gains are also limited to the range $0 \le K_p, K_i \le 100$. When the frequency is within the dead band, only the leakage term is active, and the gains return to their nominal values with a time constant of $1/\sigma \approx 3.3$ s. Thus, the controller behaves softly during normal operation and stiffly during large imbalances.

2.2.4. Design Values and Comparison Structures

The tuning parameters were selected as $\gamma_p = 10^9$, $\gamma_i = 10^7$, $\sigma = 0.3\ s^{-1}$, $K_{p0} = 10$, and $K_{i0} = 20$. The large values of γ result from the frequency error in pu remaining on the order of 10^{-3}. The derivative term was not used because it amplifies measurement noise; the controller was kept in a PI configuration.

The proposed configuration was compared with three other configurations: virtual control alone (without an additional controller), a low-gain PI controller ($K_p = 20$, $K_i = 20$) and a high-gain PI controller ($K_p = 50$, $K_i = 25$). All PI configurations operate under the same saturation, delay, and measurement noise conditions. Simulations were performed in the MATLAB/Simulink R2025b environment using a variable-step solver with a maximum step size of 0.01 s.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Three scenarios were examined in this study. In the first scenario, a step load of 0.1 pu (15 MW) was applied at t = 2 s; in the second scenario, the same load was applied to a low-inertia system with η = 0.5; and in the third scenario, a random load lasting 3,600 s was applied. The random load consists of Gaussian-distributed steps that vary at 20-second intervals and have a standard deviation of 0.03 pu.

Performance metrics include peak frequency deviation, time to peak, the time between the last entry of the frequency into the ±0.033 Hz band and the load application time (return to band), overshoot, ITAE, Δf_{rms}, and peak-to-peak frequency change ($f_{p\text{-}v}$). Battery stress was measured using the total power change $\sum_k |\Delta P_b(k) - \Delta P_b(k-1)|$, calculated with a 0.01 s sampling interval.

3.1. Step Load

The proposed controller limited the peak deviation to 0.103 Hz. This value is 22% smaller than that of the low-gain PI controller and is equivalent to that of the high-gain PI controller (Table 2, Figure 2). The return to the ±0.033 Hz frequency band took 1.59 s, which was 38% and 24% shorter, respectively, than that of the two fixed PI controllers. No overshoot was observed in

the proposed configuration.

Table 2. Frequency performance in step load scenarios (η = 0.2 and η = 0.5)

Configuration	Peak deviation (Hz)	Time to peak (s)	Return to band (s)	Overshoot (Hz)	ITAE	Peak deviation, η = 0.5 (Hz)	Return to band, η = 0.5 (s)
Virtual control only	0.202	1.59	Not reached	0	23.04	0.223	Not reached
PI (K_p = 20, K_i = 20)	0.133	0.84	2.56	0.0005	0.45	0.151	2.30
PI (K_p = 50, K_i = 25)	0.102	0.59	2.11	0.0022	0.54	0.119	2.02
Proposed adaptive PI	0.103	0.47	1.59	0	1.04	0.126	1.32

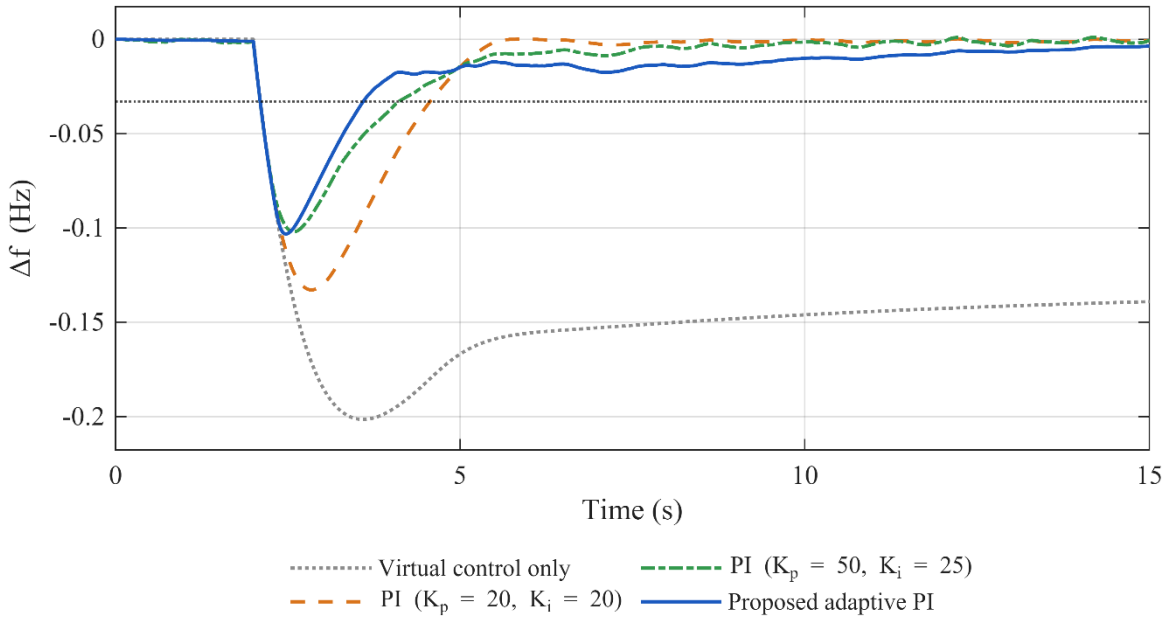


Figure 2. Frequency deviation at a 0.1 pu step load (η = 0.2). The dotted horizontal line represents the -0.033 Hz dead band limit.

As shown in Table 2, the ITAE value of the proposed controller is higher than that of classical fixed-gain PI controllers. This is because the adaptation stops once the system enters the frequency band, and the leakage term returns the gains to their nominal values. In this case, the error of approximately -0.015 Hz that remains within the band decays more slowly. This is a deliberate trade-off accepted to avoid responding to measurement noise.

As shown in Figure 3, during the load event, the battery compensates for the shortfall caused by the PEMFC's ramp limit. In the proposed configuration, the battery's peak power has increased to 14.3 MW. While this value briefly exceeds the allocated 10 MW reserve, it remains within the battery's rated power of 20 MW. In the high-gain PI controller, the battery power exhibits a fluctuating waveform due to the effect of measurement noise.

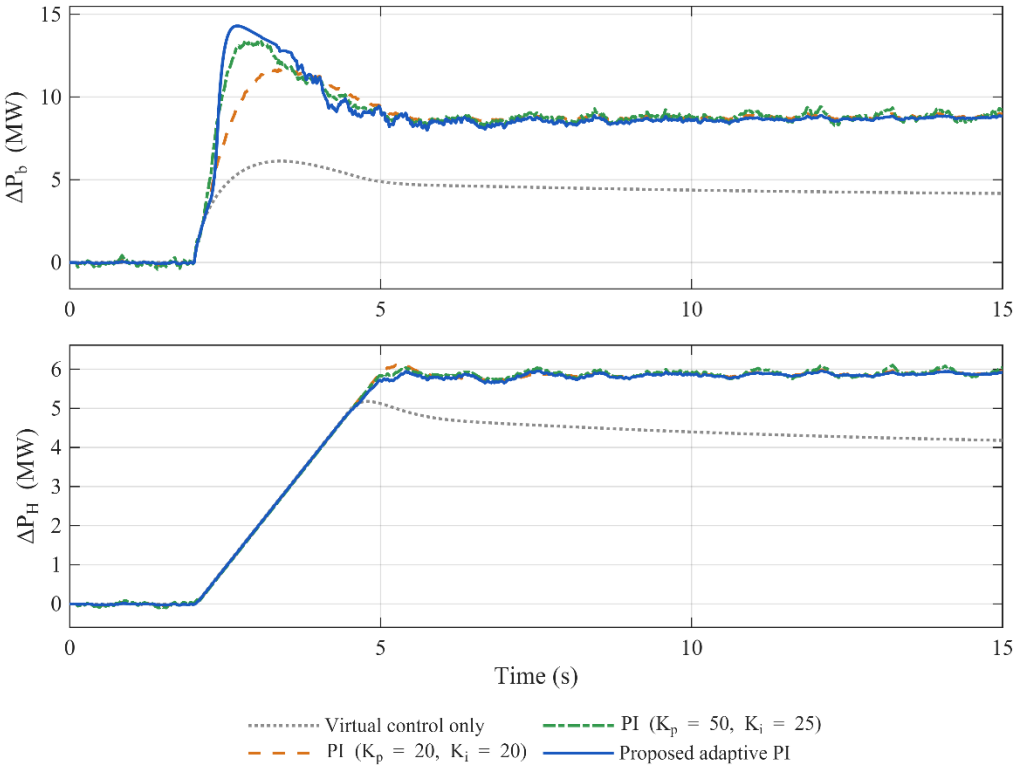


Figure 3. Changes in output power of the battery (top) and the PEMFC (bottom) under step load.

As shown in Figure 4, after the load was applied, K_p rose to the upper limit of 100, and after the event ended, it fell to its normal value of 10 due to the leakage term. K_i, on the other hand, rose to 29 and fell to its normal value of 20 after the event ended.

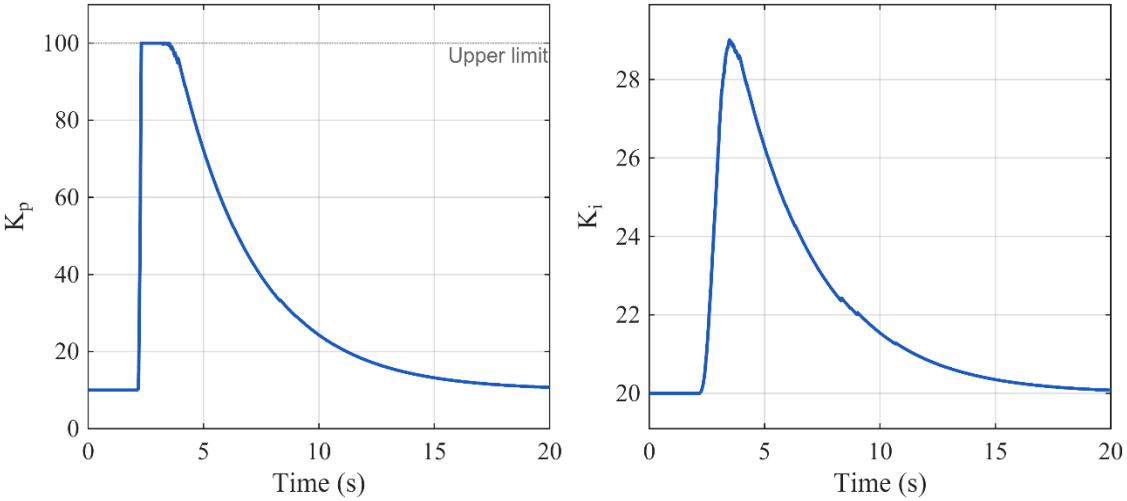


Figure 4. Change in adaptive gains under step load: K_p (left) and K_i (right).

3.2. Low Inertia (η = 0.5)

As can be seen in Table 2 and Figure 5, when the equivalent inertia was reduced by 37.5%, the deviation became even more pronounced in all structures. Without readjusting the proposed controller parameters, this approach yielded better results than low-gain PI but worse results than high-gain PI (0.126 Hz versus 0.151 Hz and 0.119 Hz). The return-to-band time is also

shorter than that of both fixed-gain PI controllers (1.32 s versus 2.30 s and 2.02 s).

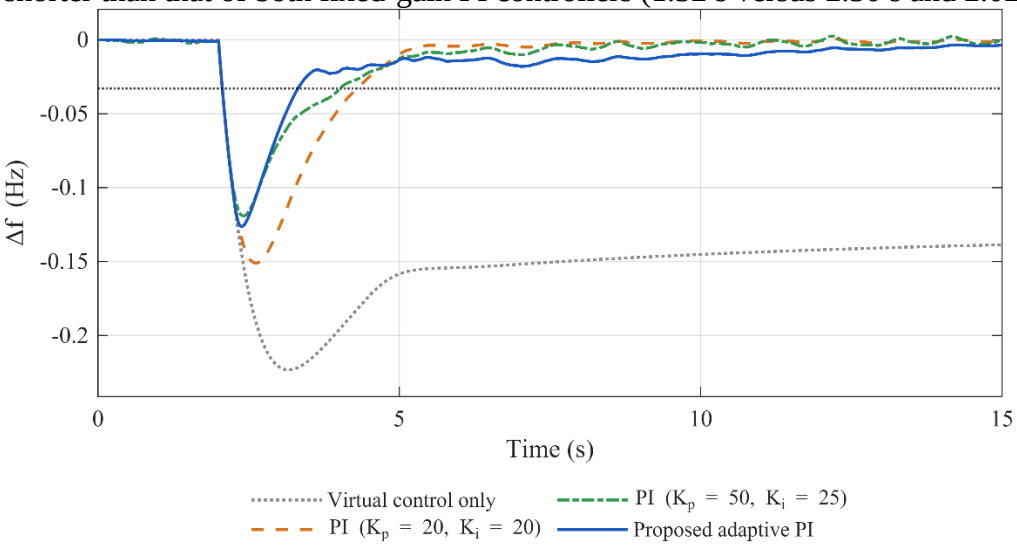


Figure 5. Frequency deviation at a 0.1 pu load step for η = 0.5.

3.3. Continuous Random Load

As shown in Table 3, under a random load, the proposed adaptive PI structure reduced the Δf_{rms} value by 27% and the $f_{p\text{-}v}$ value by 29% compared to the low-gain PI. When compared to the high-gain PI, the Δf_{rms} value is 3% higher, while the $f_{p\text{-}v}$ value is 7% lower. This implies that the frequency quality is the same. However, the total power variation of the battery is 61% lower compared to the high-gain PI controller.

Table 3. Frequency and battery performance in a 3,600-second random load scenario

Configuration	Δf_{rms} (Hz)	$f_{p\text{-}v}$ (Hz)	Total battery power variation (MW)	Battery energy throughput (MWh)	SoC range
Virtual control only	0.0460	0.361	433	1.07	0.4977–0.5005
PI (K_p = 20, K_i = 20)	0.0137	0.319	7352	2.14	0.4947–0.5009
PI (K_p = 50, K_i = 25)	0.0098	0.244	17858	2.18	0.4947–0.5010
Proposed adaptive PI	0.0100	0.228	7038	2.16	0.4947–0.5010

In the PI configurations, the energy processed by the battery and the SoC remain nearly the same; the difference lies in rapid power changes. As shown in Figure 6, the high-gain PI continuously transfers measurement noise to the battery power. Since there is no controller operating with noisy measurements in virtual control alone, the change in power is low, but the frequency deviation is persistent.

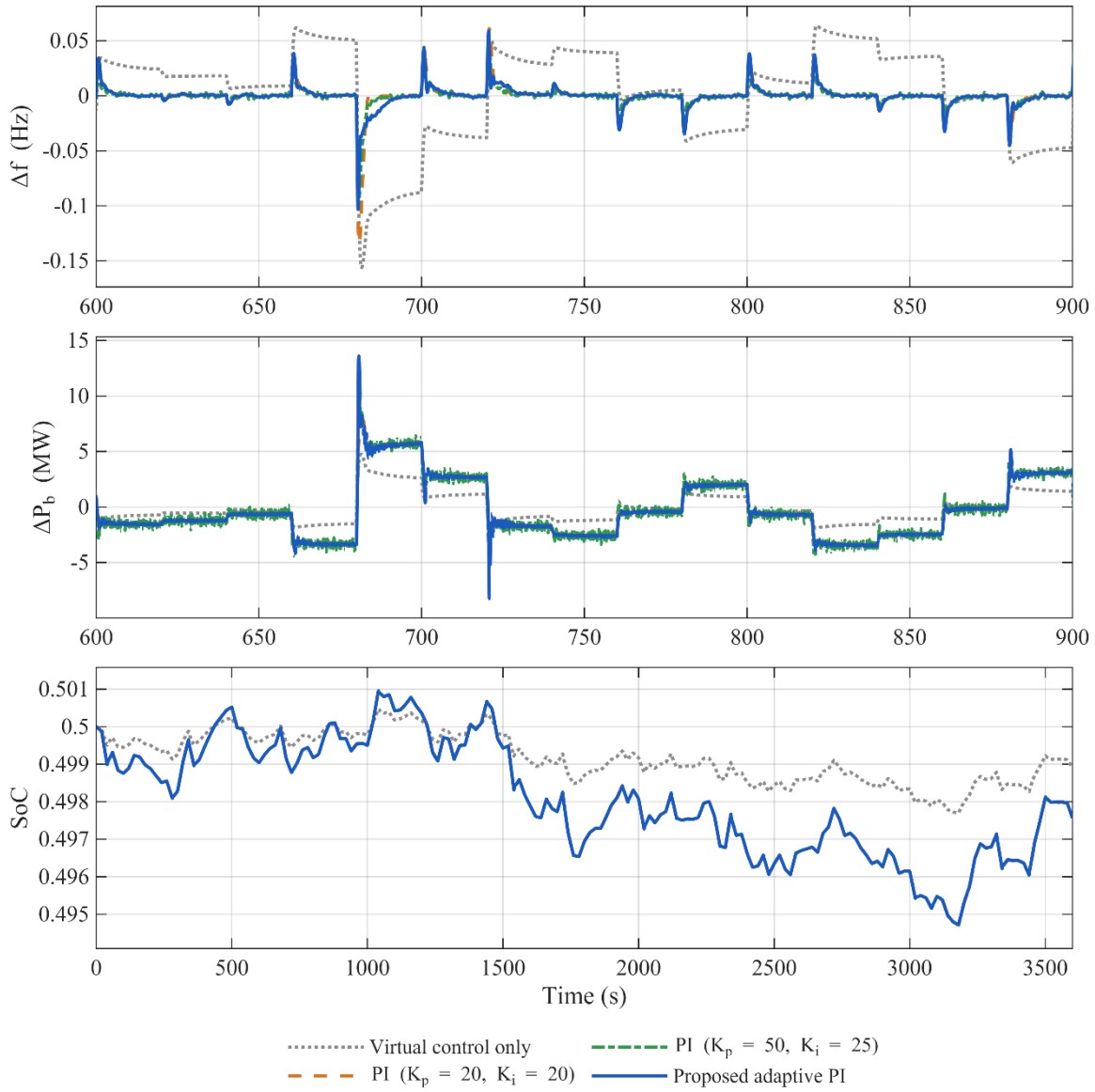


Figure 6. Frequency deviation under a random load in the 600–900 s range, battery power in the same range, and SoC change over 3,600 s.

Figure 7 shows that the adaptive K_p value increases only during large load changes and returns to 10 after each event. This behavior indicates that the gain drift observed in the leakage-free MIT rule has been prevented.

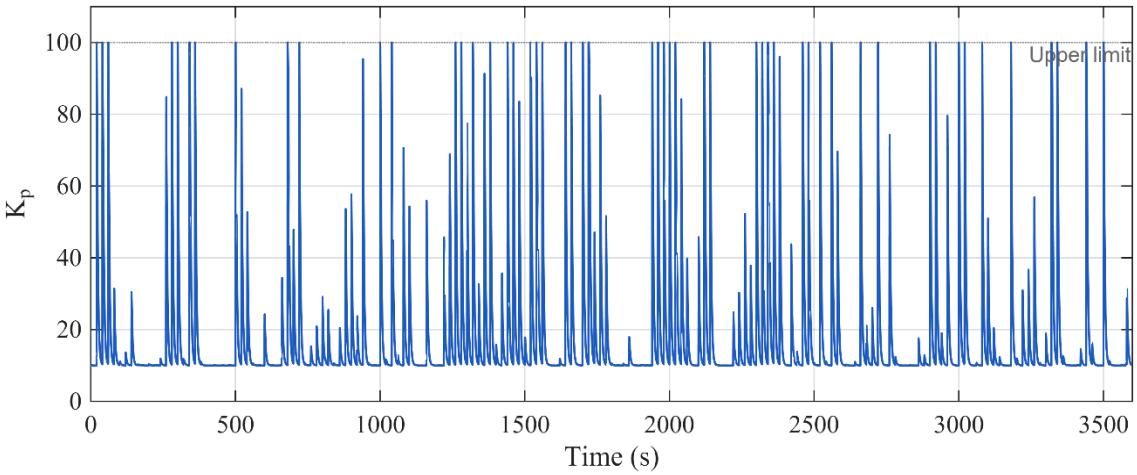


Figure 7. Variation in the adaptive K_p gain under a random load.

4. CONCLUSIONS

In this study, an adaptive PI controller, updated by the MIT rule with dead band and leakage and added on top of virtual inertia and droop control, was proposed for a hybrid PEMFC and battery power system. The simulations were performed using MATLAB/Simulink R2025b, accounting for communication delay, measurement noise, and the PEMFC ramp limit.

The results show a clear trade-off between frequency quality and battery strain in fixed-gain PI structures: low gains protect the battery but maintain poor frequency quality, while high gains improve frequency quality but transfer measurement noise to the battery power. It is observed that the proposed adaptive controller reduces this trade-off:

- Under step load, the peak deviation of 0.103 Hz is 22% smaller than that of the low-gain PI controller, and the return-to-band time of ±0.033 Hz is 1.59 s, which is shorter than that of all other configurations examined.
- When inertia was reduced by 37.5%, the return-to-band time remained 35–43% shorter than that of fixed PI controllers without parameter readjustment.
- Under random load conditions, the same frequency quality as that achieved with a high-gain PI controller was attained with 61% less battery power variation.

Limitations of this study include the proposed structure's slower decay of in-band error and the temporary exceeding of the battery reserve by peak power. Future work will address the Lyapunov-based stability analysis of the adaptation law, the imposition of direct limits on battery power, the detailed modeling of PEMFC stack temperature, and the extension to multi-area systems.

REFERENCES

Abdel Halim YM, Omar OAM, Attia MA, Diaaeldin IM, Badr AO, Afifi MA. (2025). Robust fractional-order adaptive cascaded strategy for mitigating load frequency deviations in renewable thermal hybrid systems. Scientific Reports 15, 35232. https://doi.org/10.1038/s41598-025-21454-z

Alshehri F, García Suárez V, Rueda Torres JL, Perilla A, van der Meijden MAMM. (2019). Modelling and evaluation of PEM hydrogen technologies for frequency ancillary services in future multi-energy sustainable power systems. Heliyon 5(4), e01396. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01396

Can Ö, Eroğlu H, Öztürk A. (2023). FV-termal güç sistemlerinde balina optimizasyon

algoritması tabanlı otomatik üretim kontrolörü. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 38(2), 915–926. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.984019

Datta U, Kalam A, Shi J. (2020). Battery energy storage system for aggregated inertia-droop control and a novel frequency dependent state-of-charge recovery. Energies 13(8), 2003. https://doi.org/10.3390/en13082003

Fernández-Guillamón A, Gómez-Lázaro E, Muljadi E, Molina-García Á. (2019). Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time. Renewable and Sustainable Energy Reviews 115, 109369. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109369

Karayel M, Çelik E. (2024). İki bölgeli termik güç sistemi ve fotovoltaik güç sisteminin yük-frekans denetimi için 1PDF-PI denetleyici ile frekans regülasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 12(3), 498–510. https://doi.org/10.29109/gujsc.1488286

Leonardi SG, Aloisio D, Brunaccini G, Stassi A, Ferraro M, Antonucci V, Sergi F. (2021). Investigation on the ageing mechanism for a lithium-ion cell under accelerated tests: The case of primary frequency regulation service. Journal of Energy Storage 41, 102904. https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102904

Li B, Yan L, Gerada C. (2021). The novel singular-perturbation-based adaptive control with σ-modification for cable driven system. Actuators 10(3), 45. https://doi.org/10.3390/act10030045

Li J, Hu J, Xin D. (2025). Model predictive control-based optimal control of primary frequency regulation power for hydrogen fuel cell-energy storage battery system. Renewable Energy 248, 123133. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123133

Mareels IMY, Anderson BDO, Bitmead RR, Bodson M, Sastry SS. (1987). Revisiting the MIT rule for adaptive control. In: Wittenmark B (ed), Adaptive Systems in Control and Signal Processing 1986. Oxford: Pergamon, pp. 161–166. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034085-2.50031-6

Njoka GM, Mogaka L, Wangai A. (2024). Impact of variable renewable energy sources on the power system frequency stability and system inertia. Energy Reports 12, 4983–4997. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.10.057

Rasolomampionona DD, Połecki M, Zagrajek K, Wróblewski W, Januszewski M. (2024). A comprehensive review of load frequency control technologies. Energies 17(12), 2915. https://doi.org/10.3390/en17122915

Romero Segovia V, Hägglund T, Åström KJ. (2014). Measurement noise filtering for PID controllers. Journal of Process Control 24(4), 299–313. https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2014.01.017

Ruan S. (2023). Robust fractional-order proportional-integral controller tuning for load frequency control of a microgrid system with communication delay. Energies 16(14), 5418. https://doi.org/10.3390/en16145418

Salama HS, Magdy G, Bakeer A, Vokony I. (2022). Adaptive coordination control strategy of renewable energy sources, hydrogen production unit, and fuel cell for frequency regulation of a hybrid distributed power system. Protection and Control of Modern Power Systems 7, 34. https://doi.org/10.1186/s41601-022-00258-7

Tavazoei M. (2025). A novel approach to model-reference adaptive PID controllers. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering 49(1), 371–381. https://doi.org/10.1007/s40998-024-00777-z

Urquizo J, Singh P. (2024). Partial cycling aging of Li-ion batteries in frequency regulation applications. Journal of Power Sources 592, 233908.

https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233908
Xing C, Xiao J, Li P, Xi X, Chen Y, Guo Q. (2024). Adaptive virtual inertial control and virtual droop control coordinated control strategy for hybrid energy storage taking into account state of charge optimization. Electronics 13(7), 1228. https://doi.org/10.3390/electronics13071228
Yavuzsoy A, Sargın H, Yaren T, Kizir S. (2023). Model referans uyarlamalı PID denetleyici tasarımı ve denetleyici parametrelerinin sistem davranışına etki analizi: DC motor konum kontrolü. Konya Journal of Engineering Sciences 11(3), 730–747. https://doi.org/10.36306/konjes.1218443
Yenen Yılmaz Z, Bal G, Çelik E, Öztürk N, Güvenç U, Arya Y. (2021). Yük frekans kontrolünde kullanılan ikincil denetleyicilerin optimizasyonuna yönelik yeni bir hedef fonksiyonu tasarımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 36(4), 2053–2068. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.841751
Zhou D, Zou Z, Dan Y, Wang C, Teng C, Zhu Y. (2025). An integrated strategy for hybrid energy storage systems to stabilize the frequency of the power grid through primary frequency regulation. Energies 18(2), 246. https://doi.org/10.3390/en18020246
Zhou J, Guo Y, Yang L, Shi J, Zhang Y, Li Y, Guo Q, Sun H. (2024). A review on frequency management for low-inertia power systems: From inertia and fast frequency response perspectives. Electric Power Systems Research 228, 110095. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.110095

MULTİPL SKLEROZUN KADIN CİNSEL SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Fatma ÖZKAN TUNCAY
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü İç Hastalıkları Hemşireliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID: 0000-0001-8059-1821
Dr. Öğr. Üyesi Didem KAYA
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ORCID: 0000-0001-6723-9321

Özet
Multipl skleroz (MS), merkezi sinir sistemini etkileyen, inflamasyon, demiyelinizasyon ve nörodejeneratif süreçlerin eşlik ettiği kronik bir hastalıktır. Genç erişkinlerde özürlülüğün önemli nedenlerinden biri olan MS, kadınlarda erkeklere göre daha sık görülmesi ve çoğunlukla üreme çağında ortaya çıkması nedeniyle kadın sağlığı açısından özel bir öneme sahiptir. Hastalığa bağlı gelişen fiziksel semptomlar, psikososyal sorunlar, tedavi sürecinin yan etkileri ve yaşam tarzında yapılan değişiklikler; beden algısı, sosyal ilişkiler, çalışma yaşamı, yaşam kalitesi ve cinsel sağlık üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. MS tanısı alan kadınlarda yaşanan cinsel sorunların, nörolojik hasara bağlı gelişen yorgunluk, spastisite, ağrı, mesane ve bağırsak sorunları ile birlikte, depresyon, anksiyete, beden algısındaki değişiklikler gibi çok boyutlu etmenlerle ilişkili olduğu bildirilmektedir. Kadın hastalarda yaşanan cinsel işlev sorunları arasında cinsel istekte azalma, uyarılma güçlüğü, vajinal lubrikasyonda azalma, orgazma ulaşmada güçlük, genital duyuda değişiklik ve disparoni gibi sorunlar olduğu bildirilmektedir. Belirtilen cinsel sorunlar, kadınlarda bir çok yaşam alanını etkilemektedir. Bu etkilenimlerin en aza indirilmesi için sorunun erken tanılanması ve gerekli iyileştirici önlemlerin alınması önemlidir. Cinsel sorunların bireyler tarafından sağlık profesyonelleriyle paylaşılmaması ve sağlık hizmetlerinde cinsel sağlığın yeterince sorgulanmaması, bu sorunların uygun biçimde yönetilmesini güçleştirebilmektedir. Bu nedenle hemşirelerin cinsel sağlığı bütüncül bakımın bir parçası olarak değerlendirmesi, mahremiyete duyarlı ve yargılayıcı olmayan bir iletişim ortamı oluşturması, bireysel gereksinimlere yönelik eğitim ve danışmanlık sağlaması ve gerektiğinde multidisipliner ekibe yönlendirme yapması önemlidir. Bu derlemede MS'nin kadın sağlığı üzerinde önemli yeri olan cinsel sağlık boyutunun ele alınması ve MS'li kadınların cinsel sağlık gereksinimlerine yönelik hemşirelik yaklaşımının ortaya konulması amaçlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Multipl skleroz; kadın sağlığı; cinsel sağlık; cinsel işlev bozukluğu; hemşirelik

THE EFFECTS OF MULTIPLE SCLEROSIS ON WOMEN'S SEXUAL HEALTH

ABSTRACT
Multiple sclerosis (MS) is a chronic disease affecting the central nervous system, characterized by inflammation, demyelination, and neurodegenerative processes. As a significant cause of disability among young adults, MS holds particular importance for women's health, given its higher prevalence in women compared to men and its onset primarily during reproductive age. Physical symptoms, psychosocial issues, treatment side effects, and lifestyle changes associated with the disease can negatively impact body image, social relationships, work life, quality of

life, and sexual health. Sexual problems experienced by women diagnosed with MS are reported to be linked to multidimensional factors—ranging from neurological damage-related fatigue, spasticity, pain, and bladder/bowel dysfunction to depression, anxiety, and changes in body image. Sexual dysfunction is common among women with MS and affects various aspects of their lives. Early identification of the issue and the implementation of appropriate remedial measures are crucial to minimizing these impacts. The failure of individuals to discuss sexual issues with healthcare professionals, combined with the inadequate assessment of sexual health within healthcare services, can hinder the effective management of these problems. Therefore, it is essential for nurses to address sexual health as an integral part of holistic care, foster a non-judgmental communication environment that respects privacy, provide education and counseling tailored to individual needs, and facilitate referrals to a multidisciplinary team when necessary. This review aims to address the sexual health dimension of multiple sclerosis (MS)—which plays a significant role in women's health—and to outline the nursing approach regarding the sexual health needs of women with MS.
Key words: Multiple sclerosis; women's health; sexual health; sexual dysfunction; nursing

GİRİŞ

Multipl skleroz (MS), merkezi sinir sistemini etkileyen; inflamasyon, demiyelinizasyon ve nörodejeneratif süreçlerin birlikte rol oynadığı kronik nörolojik hastalıktır. Genç erişkinlerde özürlülüğün önemli nedenlerinden biri olan MS; bireyin fiziksel işlevselliğinin yanı sıra çalışma yaşamını, sosyal ilişkilerini, psikolojik iyilik hâlini ve yaşam kalitesini etkileyebilmektedir (Mozhdehipanah ve ark., 2025; Yeni ve ark., 2025; Imanpour Barough ve ark., 2023; Doğan, 2018). MS, dünya çapında 2,8 milyon insanı etkileyen en yaygın demiyelinizan hastalıktır. Dünyada MS prevalansı 100 bin hastada 126, insidansı ise 100 binde 6,5 olarak bildirilmektedir. Hastalık, kadınlarda yüksek prevalansa sahiptir ve görülme sıklığı erkeklere göre üç kat daha yüksektir (Imanpour Barough ve ark., 2023; MS International Federation [MSIF], 2023). Kadınlarda hastalığın daha sık görülmesi ve çoğunlukla üreme çağında ortaya çıkması, MS'in kadın sağlığı açısından ayrıca değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Yeni ve ark., 2025; Ross ve ark., 2024).

Hastalığın özellikle çalışma hayatı ve sosyal ilişkilerin şekillendiği, aile kurma ve cinsel yaşamın sürdürüldüğü dönemlerde ortaya çıkması, bireyin yalnızca fiziksel işlevleri değil; yaşamının farklı boyutlarını da etkileyebilmektedir. Kadınlarda MS'nin etkileri; fiziksel belirtiler, psikososyal sorunlar, beden algısındaki değişiklikler ve cinsel işlev bozuklukları şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Yeni ve ark., 2025; Ross ve ark., 2024; Imanpour Barough ve ark., 2023). Cinsel sağlık, bireyin yaşam kalitesi, benlik algısı, beden imajı, benlik saygısı ve kişilerarası ilişkileriyle yakından ilişkilidir. MS'nin neden olduğu nörolojik ve fiziksel değişikliklerin yanı sıra psikolojik ve sosyal etmenler de cinsel işlev ve cinsel yakınlık üzerinde etkili olabilmektedir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Polat Dunya ve ark., 2020). Bu bağlamda MS'li kadınlarda cinsel sağlığın değerlendirilmesi, hastalığın bütüncül yönetiminin önemli bir bileşenidir.

Multipl Skleroz ve Cinsel Sağlık

Multipl sklerozun kadınlarda daha sık görülmesi, özellikle üreme çağındaki kadınların sağlık gereksinimlerinin hastalık yönetiminin önemli bir parçası olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Hastalığın seyri ve yol açtığı semptomlar; çalışma yaşamı, aile ve sosyal ilişkiler, yaşam kalitesi ve geleceğe ilişkin planlar üzerinde etkili olabilmektedir. Bunun yanında gebelik, doğum sonrası dönem, laktasyon ve menopoz gibi kadın sağlığına özgü yaşam dönemleri de MS'in yönetimi açısından özel değerlendirme gerektirebilir (Ross ve ark., 2024;

Nazari ve ark., 2020).

Cinsel işlev, bireyin genel iyilik hâlinin önemli bir bileşenidir. MS'li bireylerde cinsel işlev bozuklukları yalnızca cinsel yaşamı değil, partner ilişkilerini ve yaşam kalitesini de etkileyebilmektedir (Polat Dunya ve ark., 2020). MS hastası kadınlarda cinsel işlev bozukluğunun prevalansı çalışmalar arasında farklılık göstermekle birlikte, sistematik derleme ve meta-analizlerde %60 gibi yüksek oranlar da olduğu bildirilmiştir (Salari ve ark., 2023; Yazdani ve ark., 2023). Literatürde MS hastalarında cinsel işlev sorunlarının farklı boyutlarda görülebildiği ve cinsel sağlığın hastalık yönetiminde dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Yazdan Panah ve ark., 2025; Yazdani ve ark., 2023)

MS hastası kadınlarda cinsel işlev sorunları arasında cinsel istekte azalma, uyarılma güçlüğü, vajinal lubrikasyonda azalma, orgazma ulaşmada güçlük, genital duyuda değişiklik ve disparoni gibi sorunlar bildirilmektedir (Yazdani ve ark., 2023; Polat Dunya ve ark., 2020). Bununla birlikte cinsel sağlık yalnızca fizyolojik cinsel işlevlerden oluşmamakta; cinsel tatmin, yakınlık, beden algısı, benlik saygısı ve partner ilişkileri gibi psikososyal boyutları da içermektedir. MS'li kadınlarda cinsel tatmin ve cinsel yakınlığın hastalıkla başa çıkma biçimleri ve psikososyal özelliklerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Imanpour Barough ve ark., 2023)

Cinsel sağlığın ana bileşenleri olan cinsel tatmin ve cinsel yakınlık, hastalık sürecinden dolayı etkilenmektedir. MS kadınlarda cinsel tatmin düzeyinin, genital sinir iletiminde azalma, orgazm bozuklukları gibi fiziksel değişiklikler, yorgunluk, depresyon ve kaygı gibi psikolojik etkiler nedeniyle azaldığı belirtilmektedir. Yapılan bir çalışmada katılımcıların %54.9'unun orta düzeyde cinsel tatmin yaşadığı belirlenmiştir (Imanpour Barough ve ark., 2023). Cinsel yakınlık, MS'den etkilenebilecek bir diğer faktördür. MS'de nörolojik bozuklukların kadınların cinsel sağlığını ve cinsel işlevini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebileceği bildirilmektedir. MS'in neden olduğu fiziksel ve psikolojik bozuklukları takiben cinsel uyarılmanın ve cinsel isteğin azaldığı ileri sürülmektedir (Timkova ve ark. 2021; Polat Dunya ve ark., 2020; Yazdan Panah ve ark., 2025). Imanpour Barough ve ark. (2023) yaptığı çalışmada katılımcıların çoğunluğunun cinsel yakınlık kurma ve sürdürmede sorun yaşadığı belirlenmiştir.

MS'de Cinsel İşlev Bozukluklarının Nedenleri

MS'de cinsel işlev bozuklukları genellikle birincil, ikincil ve üçüncül nedenler çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu sınıflandırma, cinsel sorunların yalnızca nörolojik hasarla açıklanamayacağını; fiziksel, psikolojik, ilişkisel ve sosyokültürel etmenlerin de sürece katkıda bulunduğunu göstermektedir (Mozhdehipanah ve ark., 2025; Polat Dunya ve ark., 2020; Doğan, 2018).

Birincil nedenler, MS'in merkezi sinir sisteminde oluşturduğu doğrudan nörolojik etkilerle ilişkilidir. Genital duyuda azalma, cinsel uyarılmada değişiklik, vajinal lubrikasyonda azalma, disparoni ve orgazma ulaşmada güçlük bu kapsamda değerlendirilmektedir (Yazdani ve ark., 2023; Özkan Tuncay 2023; Polat Dunya ve ark., 2020). MS tanılı kadınların %29-86'sının cinsel istekte azalma, %6-40'ının disparoni, %43-62'sinin genital duyuda azalma, %12-40'ının vajinal kuruluk ve % 24-58'inin orgazm sorunları yaşadıkları bildirilmektedir (Özkan Tuncay 2023).

İkincil nedenler hastalığa veya tedaviye bağlı fiziksel sorunlarla ilişkilidir. Yorgunluk, halsizlik, spastisite, ağrı, hareket kısıtlılığı, mesane ve bağırsak işlevlerindeki bozukluklar cinsel aktiviteyi güçleştirebilir. Özellikle üriner semptomlar ve idrar kaçırma, cinsel yakınlık sırasında kaygı ve rahatsızlık oluşturabilmektedir. Bunun yanında bazı ilaçların yan etkileri de cinsel işlevleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Özkan Tuncay 2023, Doğan, 2018). MS'li bireylerde yorgunluk önemli bir semptom olarak cinsel aktivite için gerekli fiziksel ve

psikolojik enerjiyi azaltabilir. Spastisite ve ağrı ise uygun pozisyonların sürdürülmesini güçleştirebilir ve cinsel aktivite sırasında rahatsızlığa yol açabilir. Mesane ve bağırsak sorunları da özellikle idrar kaçırma veya dışkılama ile ilgili kaygılar nedeniyle cinsel yakınlıktan kaçınmaya neden olabilir. Bu nedenle cinsel işlev değerlendirilirken hastanın eşlik eden semptomları ve bu semptomların günlük yaşam üzerindeki etkileri birlikte değerlendirilmelidir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Özkan Tuncay 2023; Yazdani ve ark., 2023).

Hastalık sürecinde yaşanan psikolojik, duygusal, ilişkisel ve sosyokültürel etmenler de cinsel sorunlara yol açan üçüncül nedenler olarak tanımlanmaktadır. Beden imajı ve kadınlık algısındaki değişiklikler, benlik saygısında azalma, depresyon, anksiyete, stres gibi yaşanan duygusal değişimler, hastalığın geleceğine ilişkin belirsizlikler ve partner ilişkilerinde yaşanan güçlükler cinsel istek, yakınlık ve cinsel tatmin üzerinde etkili olabilmektedir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Polat Dunya ve ark., 2020; Tudor ve ark., 2018). Depresyon ve anksiyete gibi psikolojik sorunlar cinsel isteği ve uyarılmayı olumsuz etkilemekle birlikte bazı antidepresanların cinsel işlev üzerinde yan etkilere yol açabileceği bilinmektedir. Bu nedenle cinsel sorunların değerlendirilmesinde psikolojik durum ile kullanılan ilaçların olası etkilerinin birlikte ele alınması önemlidir (Özkan Tuncay 2023; Petersen ve ark., 2020).

Multipl Sklerozun özellikle genç erişkinlik döneminde ortaya çıkması; eş bulma, ilişki başlatma, evlilik ve aile kurma gibi konularda kaygıların yaşanmasına neden olabilir. Hastalığın görünür veya görünmeyen semptomları, hareket kısıtlılığı ve yeti yitimi ile ilgili endişeler bireyin kendisini ve bedenini algılama biçimini etkileyebilir. Bu durumlar cinsel yakınlığın ve partner ilişkilerinin sürdürülmesini güçleştirebilmektedir (Ross ve ark., 2024; Tudor ve ark., 2018).

Hastalık süresi ve yaş da cinsel işlev açısından dikkate alınması gereken diğer değişkenlerdir. Hastalık süresinin uzamasıyla fiziksel yetersizlik ve semptom yükünün artması cinsel yaşamı etkileyebilir. Bununla birlikte yaşlanmaya eşlik eden hormonal değişiklikler de cinsel istek ve cinsel işlev üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle cinsel sağlık değerlendirmesinin yalnızca hastalığın başlangıcında değil, hastalığın farklı dönemlerinde ve bireyin gereksinimleri doğrultusunda tekrarlanması önemlidir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Imanpour Barough ve ark. 2023).

Multipl Sklerozun prognozundaki belirsizlik, atak yaşama olasılığı ve yeti yitimi ile ilgili endişeler bireylerde emosyonel stres oluşturabilir ve partner ilişkilerini etkileyebilir. Bazı kadınlarda terk edilme veya partner tarafından kabul edilmeme kaygısı ortaya çıkabilir. Hareket kısıtlılığı ve diğer semptomlar sosyal etkileşimleri ve yeni ilişkiler kurmayı da güçleştirebilir. Bu nedenle cinsel sağlık değerlendirmesi bireyin ilişki durumu, psikososyal gereksinimleri ve sosyal destek kaynakları ile birlikte ele alınmalıdır (Bove ve ark., 2024; Ross ve ark., 2024; Özkan Tuncay 2023; Timkova ve ark., 2021)

Multipl Sklerozda Cinsel Sağlık SorunlarınınYönetiminde Hemşirelik Yaklaşımı

Multipl Sklerozda cinsel işlev bozuklukları sık görülmesine karşın, bireylerin bu sorunları sağlık profesyonelleriyle paylaşmaktan çekinmeleri nedeniyle gözden kaçabilmektedir. Cinselliğin mahrem bir konu olarak görülmesi, kültürel tutumlar, sağlık hizmetlerinde fiziksel ve nörolojik semptomlara öncelik verilmesi ve cinsel sağlık konusunun sağlık çalışanları tarafından yeterince gündeme getirilmemesi değerlendirme sürecini güçleştirebilmektedir. Bununla birlikte MS'li bireylerin cinsel işlev bozuklukları konusunda yardım arama davranışlarını etkileyen engellerin bulunduğu da bildirilmektedir (Yeni ve ark., 2025; Özkan Tuncay 2023; Ghasemi ve rak., 2020). Bu nedenle hemşirelerin cinsel sağlığı rutin bakımın bir parçası olarak ele alması önemlidir. Cinsel sağlık konusunun uygun bir iletişim ortamında, açık ancak bireyin mahremiyetine saygılı biçimde gündeme getirilmesi, bireyin sorunlarını ifade

etmesini kolaylaştırmaktadır.

Cinsel sağlığın değerlendirilmesi

Hemşirenin yargılayıcı olmayan, empatik ve duyarlı bir iletişim kullanarak cinsel sağlığı değerlendirmesi, mevcut sorunlarının daha erken fark edilmesine katkı sağlayacaktır (Hadoush ve ark., 2026; White ve ark., 2026). Cinsel işlevin rutin olarak sorgulanması, uygun tarama araçlarının kullanılması ve gerektiğinde multidisipliner değerlendirmeye yönlendirme, güncel literatürde önerilen bakım yaklaşımıyla uyumludur (White ve ark., 2026; Yazdan Panah ve ark., 2025). Sağlık profesyonellerinin, hastalarla cinsel yaşam konusunda doğrudan ve açık bir iletişim kurabilmeleri, cinsel sorunlarını ifade etmekte güçlük yaşayan bireylerin yaşadığı sorunları anlayabilmeleri ve etkili eğitim ile danışmanlık hizmeti sunabilmeleri için yeterli bilgi ve beceriye sahip olmaları gerekmektedir. Özellikle hemşirelerin cinsel sağlığı rutin bakımın bir parçası olarak ele almaları en temel bakım unsuru olarak kabul edilmektedir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Tudor ve ark., 2018).

Hemşirenin cinsel öykü alırken bireyin mahremiyetine saygı duyması, uygun ve güvenli bir görüşme ortamı sağlaması, yargılayıcı olmayan bir iletişim kurması ve bireyin kültürel değerlerini dikkate alması oldukça önemlidir. Hastanın cinsel yaşamına ilişkin kaygılarını ve sorularını ifade etmesi teşvik edilmesi; kullanılan dilin hastanın anlayabileceği ve tercih ettiği ifadelerle uyumlu olması hasta ile iletişimin sürdürülmesini kolaylaştıracaktır (Polat Dunya ve ark., 2020; Tudor ve ark., 2018).

Hemşirelik değerlendirmesinde yalnızca cinsel işlevin kendisi değil, cinsel sağlığı etkileyebilecek fiziksel, psikolojik ve sosyal etmenlerin de ele alınması önemlidir. Bu kapsamda cinsel istek ve uyarılma, vajinal lubrikasyon, orgazm, disparoni ve ağrı, genital duyudaki değişiklikler, yorgunluk, spastisite, mesane ve bağırsak sorunlarının yanı sıra; beden algısı, depresyon ve anksiyete, partner ilişkileri, sosyal destek ve kullanılan ilaç yan etkilerinin bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Yazdan Panah ve ark., 2025; Polat Dunya ve ark., 2020).

Hasta ile yapılan görüşmede cinsel sağlığı etkileyebilecek faktörler de ele alınmalı ve gereksinim doğrultusunda semptom yönetimine ilişkin eğitim verilmelidir. Bireyin cinsel aktivitesini kolaylaştırabilecek kişisel bakım stratejileri hakkında danışmanlık sağlanması oldukça önemlidir. Örneğin mesane ve bağırsak sorunları yaşayan bireylere, kişisel gereksinimleri doğrultusunda cinsel aktivite öncesinde boşaltım planlaması hakkında bilgi verilebilir. Üriner kateter kullanan bireylerde ise kateter yönetimine ilişkin öneriler sağlık profesyonelinin uygun klinik değerlendirmesi doğrultusunda ele alınmalıdır (Afshar ve ark., 2022; Polat Dunya ve ark., 2020).

Semptom yönetimi ve bireysel danışmanlık

Hemşirelik bakımında cinsel işlevi etkileyen semptomların yönetimi önemli bir yer tutmaktadır. Yorgunluğu olan bireylere enerji koruma ve günlük aktivitelerin planlanması konusunda danışmanlık verilmesi önemlidir. Spastisite ve ağrı yaşayan bireylerde semptomların yönetimine yönelik sağlık ekibiyle iş birliği yapılması ve cinsel aktivite için uygun pozisyonların belirlenmesi gerekmektedir (Hadoush ve ark., 2026; White ve ark., 2026). Mesane ve bağırsak sorunları yaşayan bireylere kişisel gereksinimleri doğrultusunda boşaltım düzeninin planlanması konusunda bilgi verilebilir. İdrar kaçırma veya bağırsak sorunları nedeniyle cinsel yakınlıktan kaçınan bireylerin kaygıları ele alınmalı ve uygun semptom yönetimi konusunda destek sağlanmalıdır. Üriner kateter kullanan bireylerde kateter yönetimi ve cinsel aktivite sırasında güvenli uygulamalar bireyin klinik durumuna göre sağlık profesyonelleri tarafından değerlendirilmesi gereken önemli noktalardır (Afshar ve ark., 2022; Polat Dunya ve ark., 2020).

Psikososyal destek ve beden algısının değerlendirilmesi

MS'nin kronik seyri ve fiziksel değişiklikleri kadınların beden algısını, benlik saygısını ve kadınlık algısını etkileyebilir. Bu nedenle hemşireler bireyin hastalığa ilişkin duygu ve düşüncelerini ifade etmesine olanak sağlamalı ve beden algısındaki değişikliklerin cinsel yaşam üzerindeki etkisini değerlendirmelidir. Depresyon, anksiyete, yoğun stres, partner ilişkilerinde belirgin sorunlar veya cinsel işlev bozukluğuna eşlik eden psikososyal güçlükler saptandığında ilgili sağlık profesyonellerine yönlendirme yapılmalıdır. Bireyin isteği doğrultusunda partnerin bakım ve danışmanlık sürecine katılımı da desteklenebilir. Partner katılımında bireyin mahremiyet tercihleri ve onamı temel alınmalıdır.

Eğitim ve multidisipliner yaklaşım

Cinsel işlev bozukluklarının yönetimi çoğu zaman tek bir sağlık profesyonelinin müdahalesiyle sınırlı değildir. Hemşire; nöroloji, üroloji, kadın hastalıkları ve doğum, psikiyatri/psikoloji, fizik tedavi ve rehabilitasyon ve gerektiğinde cinsel sağlık konusunda uzmanlaşmış profesyonellerle iş birliği yapmalıdır (Afshar ve ark., 2022; Esteve-Rios ve ark., 2020). Hemşirenin temel rollerinden biri, bireyin cinsel sağlık sorunlarının fark edilmesini sağlamak, uygun bilgi ve danışmanlık vermek, semptomların yönetimini desteklemek ve gerektiğinde uygun sağlık profesyoneline yönlendirmektir. Böylece bakım yalnızca cinsel işlev *bozukluğunun* azaltılmasına değil, bireyin yaşam kalitesinin, benlik saygısının, ilişkisel iyilik hâlinin ve genel sağlık durumunun desteklenmesine yönelik bütüncül bir yaklaşım kazanır. Bu yaklaşım, MS'li kadınlarda cinsel sağlığın yalnızca cinsel işlev üzerinden değil, bireyin fiziksel, psikolojik, sosyal ve ilişkisel özellikleriyle birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Hadoush ve ark., 2026; White ve ark., 2026).

SONUÇ

Multipl skleroz, kadınların yalnızca fiziksel sağlığını değil; cinsel, psikolojik ve sosyal iyilik hâlini de etkileyebilen kronik bir hastalıktır. MS'li kadınlarda cinsel işlev bozuklukları; doğrudan nörolojik etkilenmenin yanı sıra yorgunluk, spastisite, ağrı, mesane ve bağırsak sorunları, kullanılan ilaçlar, depresyon, anksiyete, beden algısındaki değişiklikler, benlik saygısındaki azalma ve partner ilişkilerindeki güçlükler gibi çok boyutlu etmenlerle ilişkili olarak ortaya çıkabilmektedir. MS'li kadınlarda cinsel sağlık değerlendirmesi bakımın rutin bir bileşeni olarak ele alınmalı; değerlendirme bireyin mahremiyetine, kültürel özelliklerine ve kişisel tercihlerine saygılı biçimde gerçekleştirilmelidir. MS'li kadınlarda cinsel sağlığın düzenli ve bütüncül biçimde değerlendirilmesi, bireysel bakım gereksinimlerinin belirlenmesi ve uygun hemşirelik girişimlerinin planlanması, kadınların yaşam kalitesinin desteklenmesine katkı sağlayabilecek önemli bir bakım yaklaşımıdır.

Yazar katkıları

Fikir – FÖT; Tasarım –FÖT, DK; Literatür taraması – FÖT, DK; Kaynaklar – FÖT, DK; Makaleyi yazan – FÖT, DK; Eleştirel inceleme – FÖT, DK.

Etik kurul beyanı

Bu çalışma derleme niteliğinde olduğundan etik kurul onayı alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yapay Zeka Beyanı

Yazarlar, yapay zeka araçlarını çeviri amacıyla kullanıldığını beyan eder. Yapay zeka araçları, bilimsel içeriğin oluşturulması, analizi veya yorumlanması amacıyla kullanılmamıştır.

KAYNAKLAR

Afshar, B., Amini, L., Hasani, M., et al. (2022). The most effective sexual function and dysfunction interventions in individuals with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Reproductive Biomedicine, 20(4), 241–254. https://doi.org/10.18502/ijrm.v20i4.10897

Bove, R., Sutton, P., & Nicholas, J. (2024). Women's health and pregnancy in multiple sclerosis. Neurologic Clinics, 42(1), 275–293. https://doi.org/10.1016/j.ncl.2023.07.004

Doğan HD. Multiple sclerosis and to be woman. Int J Health Sci Res. 2018; 8(7):352-359.

Esteve-Ríos, A., García-Sanjuán, S., Escribano, S., Monasor-Ortolá, D., & Cabañero-Martínez, M. J. (2022). Experience of women with multiple sclerosis about their sexuality. Disability and Rehabilitation, 44(18), 5117-5123.

Esteve-Rios A, Garcia-Sanjuan S, Oliver-Roig A, et al. Effectiveness of interventions aimed at improving the sexuality of women with multiple sclerosis: a systematic review. Clin Rehabil. 2020;34(4):438–449. . 2020 Apr;34(4):438-449. doi: 10.1177/0269215520901751.

Ghasemi V, Simbar M, Ozgoli G, et al. Sexual life under the shadow of multiple sclerosis in women: a qualitative study in Iran. Sex Disabil. 2020;38(4):715–730. https://doi.org/10.1007/s11195-020-09626-3

Hadoush, H., Al Hassoun, A., Al-Wardat, M., Etoom, M., & Al-Sharman, A. (2026). Non-pharmacological interventions for sexual health in multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Sexual Medicine, 14(1), qfaf102. https://doi.org/10.1093/sexmed/qfaf102.

Imanpour Barough, S., Riazi, H., Keshavarz, Z., Nasiri, M., & Montazeri, A. (2023). The relationship between coping strategies with sexual satisfaction and sexual intimacy in women with multiple sclerosis. Annals of General Psychiatry, 22, 22. https://doi.org/10.1186/s12991-023-00451-4

Mozhdehipanah, H., Sharifi, N., Emami, A., Agha Abbaslou, M., & Mirzadeh, M. (2025). The prevalence of sexual dysfunction and its contributors among the women with multiple sclerosis. BMC Women's Health, 25, 128. https://doi.org/10.1186/s12905-025-03653-y

MS International Federation. (2023). Atlas of MS: New prevalence and incidence data. https://atlasofms.org/map/global/epidemiology/number-of-people-with-ms

Nazari F, Shaygannejad V, Mohammadi Sichani M, Mansourian M, Hajhashemi V. (2020). Sexual dysfunction in women with multiple sclerosis: prevalence and impact on quality of life. BMC Urol. 21;20(1):15. https://doi.org/10.1186/s12894-020-0581-2.

Petersen, M., Kristensen, E., Giraldi, L., & Giraldi, A. (2020). Sexual dysfunction and mental health in patients with multiple sclerosis and epilepsy. BMC Neurology, 20, 41. https://doi.org/10.1186/s12883-020-1625-7

Polat Dunya, C., Tülek, Z., Uchiyama, T., Haslam, C., & Panicker, J. N. (2020). Systematic review of the prevalence, symptomatology and management options of sexual dysfunction in women with multiple sclerosis. Neurourology and Urodynamics, 39(1), 83–95. https://doi.org/10.1002/nau.24232

Ross, A. P., Finlayson, M., Amato, M. P., Cohen, J. A., Hellwig, K., Tintoré, M., Vukusic, S., Salter, A., & Marrie, R. A. (2024). Priority setting: Women's health topics in multiple sclerosis. Frontiers in Neurology, 15, 1355817. https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1355817

Salari, N., Hasheminezhad, R., Abdolmaleki, A., Kiaei, A., Razazian, N., Shohaimi, S., & Mohammadi, M. (2023). The global prevalence of sexual dysfunction in women with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Neurological Sciences, 44(1), 59–66. https://doi.org/10.1007/s10072-022-06406-z

Timkova, V., Mikula, P., Linkova, M., Szilasiova, J., & Nagyova, I. (2021). Sexual functioning

in patients with multiple sclerosis and its association with social support and self-esteem. Psychology, Health & Medicine, 26(8), 980–990. https://doi.org/10.1080/13548506.2020.1800054

Tudor, K. I., Eames, S., Haslam, C., Chataway, J., Liechti, M. D., & Panicker, J. N. (2018). Identifying barriers to help-seeking for sexual dysfunction in multiple sclerosis. Journal of Neurology, 265(12), 2789–2802. https://doi.org/10.1007/s00415-018-9064-8

Tuncay FÖ (2023) Sinir Sistemi Hastalıkları ve Kadın, Kadın Sağlık Estetik, Ed. Nilüfer Tuğut, İstanbul Tıp Kitabevleri, I. Basım, İstanbul, ss:257-287.

White, E., Adanijo, A., Papiernik-Berkhauer, P., Norton, S., Moss-Morris, R., & Brown, A. (2026). Effectiveness of non-pharmacological treatments for sexual difficulties in adults with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Sexual Medicine Reviews, 14(3), qeag032. https://doi.org/10.1093/sxmrev/qeag032

Yazdan Panah, M., Oraee, S., Fekri, M., Saberian, P., Afshin, S., Vaheb, S., Shaygannejad, V., & Mirmosayyeb, O. (2025). Sexual function in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. The Journal of Sexual Medicine, 22(7), 1122–1138. https://doi.org/10.1093/jsxmed/qdaf102

Yazdani, A., Ebrahimi, N., Mirmosayyeb, O., & Ghajarzadeh, M. (2023). Prevalence and risk of developing sexual dysfunction in women with multiple sclerosis (MS): A systematic review and meta-analysis. BMC Women's Health, 23, 297. https://doi.org/10.1186/s12905-023-02501-1

Yeni K, Tulek Z, Terzi M, Sexual dysfunction in female patients with multiple sclerosis: relationship with functional status, fatigue, depression, sleep quality, and quality of life, The Journal of Sexual Medicine, 2025;22(3):464–472, https://doi.org/10.1093/jsxmed/qdaf015

GEBELİKTE TİROİD FONKSİYON BOZUKLUĞU VE HEMŞİRELİK BAKIMI

Dr. Öğr. Üyesi Didem KAYA
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ORCID: 0000-0001-6723-9321
Prof. Dr. Fatma ÖZKAN TUNCAY
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü İç Hastalıkları Hemşireliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID: 0000-0001-8059-1821

ÖZET
Gebelik döneminde fizyolojik süreçler önemli ölçüde farklılaşmakta ve bazı sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu dönemindeki kadınlarda diyabetes mellitustan sonra en sık görülen endokrin hastalık tiroid disfonksiyonudur. Tiroid bezinin vaskülarizasyondaki artış ve human koryonik gonadotropin hormonunun tiroid bezini uyarması, tiroksin üretiminin artmasına yol açarken, serum TSH düzeylerinde belirgin bir düşüşe neden olur. Yetersiz iyot alımı, demir eksikliği, otoimmün bozukluklar nedeniyle de tiroid fonksiyonlarında değişiklik meydana gelir. İntrauterin dönemde fetüsün sağlıklı büyüyüp gelişebilmesi için maternal tiroid hormonuna ihtiyaç vardır. Tiroksin (T4) ve tri-iyodotironin (T3) hormonlarının eksikliği veya fazlalığı durumunda prenatal dönemde morbidite ve mortalite oranlarında artış görülebilir. Erken dönemde tanılanmamış ve/veya tedavi edilmemiş klinik veya subklinik tiroid disfonksiyonu, preeklampsi, anemi, plasenta dekolmanı, abortus, düşük doğum ağırlığı, intra uterin gelişme geriliği, preterm eylem, ablasyo plasenta, fetal mortalite, venöz tromboz, maternal hipertansiyon, fetal guatr ve fetal hipertiroidizme neden olabilir. Tiroid disfonksiyonu olan üreme çağındaki kadınların gebe kalmadan önce tedavi olmaları, gebeliğin erken döneminden itibaren rutin prenatal kontrollerde tiroid hormonlarının değerlendirilmesi, fetüsün gelişiminin yakından izlenmesi ve postpartum dönemde hem annenin hem de yeni doğanın takipleri oldukça önemlidir. Hemşirelerin bütüncül bir yaklaşımla kadınları biyopsikososyal açıdan değerlendirmeleri gerekir. Hemşireler kadınlara sağlık eğitimi, hastalık bilgisi, beslenme, prenatal kontrollerin önemi, düzenli ilaç kullanımı, hastalık belirtileri ile baş etme yolları hakkında bilgilendirme yaparak, kadınların tedaviye uyumunu artırabilirler. Bu derlemede, gebelik döneminde yaşanan tiroid fonksiyon bozuklukları ve bozuklukları önleme ve kontrol altına almaya yönelik hemşirelik bakımının önemine yer verilmiştir.
Anahtar kelimeler: gebe, tiroid fonksiyon bozukluğu, hemşirelik

THYROID FUNCTION DISORDER IN PREGNANCY AND NURSING CARE

ABSTRACT
Thyroid dysfunction is the most common endocrine disorder in pregnant women after diabetes mellitus. Physiological processes undergo significant changes during pregnancy. Increased thyroid gland vascularity and stimulation of the gland by human chorionic gonadotropin (hCG) lead to increased thyroxine production, resulting in a marked decrease in serum TSH levels. Changes in thyroid function also occur due to inadequate iodine intake, iron deficiency, and autoimmune disorders. Maternal thyroid hormone is essential for the healthy growth and development of the fetus during the intrauterine period. Deficiencies or excesses of thyroxine (T4) and triiodothyronine (T3) can lead to increased prenatal morbidity and mortality rates. Undiagnosed and/or untreated clinical or subclinical thyroid dysfunction in the early stages can

result in preeclampsia, anemia, placental abruption, miscarriage, low birth weight, intrauterine growth restriction, preterm labor, fetal mortality, venous thrombosis, maternal hypertension, fetal goiter, and fetal hyperthyroidism. It is crucial for women of reproductive age with thyroid dysfunction to receive treatment before conception, for thyroid hormones to be evaluated during routine prenatal check-ups starting in early pregnancy, for fetal development to be closely monitored, and for both the mother and the newborn to be followed up in the postpartum period. Nurses need to assess women from a biopsychosocial perspective using a holistic approach. Nurses can improve treatment adherence among women by providing information on health education, the nature of the disease, nutrition, the importance of prenatal check-ups, consistent medication use, and strategies for managing symptoms. This review aims to identify the types and complications of thyroid dysfunction during pregnancy and the importance of nursing care.
Keywords: pregnant, thyroid function disorder, nursing

GİRİŞ

Tiroid bezi larenksin aşağısında, trakeanın üzerinde yerleşmiştir. Bez, tiroksin (T4) ve tri-iyodotironin (T3) hormonlarını salgılar ve her iki hormonun oluşumu için de iyot gereklidir. T4 tiroid bezi tarafından salınan primer hormondur; bu daha sonra hedef hücreler tarafından T3'e dönüştürülür (Karaveli Çakır 2018). Tiroid bezi, salgıladığı hormonlar sayesinde metabolik hızla birlikte kardiyak ve nörolojik fonksiyonları kontrol eder. Hipotalamus tirotropin salgılatıcı hormon (tirotropin releasing hormon-TRH) salgılayarak ön hipofizden tiroid stimüle edici hormon (TSH) salınmasını uyarır. TSH kan yoluyla tiroiddeki reseptörlere bağlanarak T3 ve T4 hormonlarının üretimi ve salgılanmasını kontrol eder. Bu hormonlarda hipofizden daha fazla TSH salınmasını engeller (Birol 2023).

Tiroid bozukluklar, diyabet mellitus'tan sonra üreme çağındaki kadınlarda en sık görülen ikinci endokrin bozukluktur (Reid et al. 2013; Lee and Pearce 2022). Her ikisi de otoimmün tiroid bozukluğu olan Hashimoto tiroiditi ve Graves hastalığı, kadınlarda erkeklere kıyasla sekiz ila on kat daha sık görülür ve en yüksek görülme sıklığına erken yetişkinlik döneminde ulaşır. Dikkat çekici bir husus olarak, hipotiroidizmin gebeliklerin %4'ünde, hipertiroidizmin ise gebeliklerin %2,4'ünde görüldüğü tahmin edilmektedir (Lee and Pearce 2022).

GEBELİKTE TİROİD DİSFONKSİYONU

Gebelik sırasında annenin tiroid hormonu üretimine olan gereksinim önemli ölçüde artar. Ötiroid durumun korunabilmesi için toplam tiroksin konsantrasyonlarının %20–50 oranında artması gerekir. Bu durum ancak iyot yeterliliği ve yıkıcı otoimmün tiroid süreçlerinin yokluğu koşullarında sağlanabilir (Springer et al. 2017). Gebelik döneminde tiroid bezinin dokusunda hiperplazi ve vaskülarizasyonda artış görülür (Kızılkaya Beji ve Aydın Özkan 2015). Plasentadan salgılanan Human Koryonik Gonadotropin (hCG) tiroidi zayıf şekilde uyarır ve buna bağlı olarak öncelikle tiroksin (T4) üretiminin artmasına yol açarken, ikinci olarak serum TSH düzeylerinde belirgin bir düşüşe neden olur (Uçar 2020; Martinez et al. 2018; Belmahi et al. 2018). Fetal tiroid bezi gebeliğin 10-12. haftalarında mevcut ve işlevsel olsa da 18-20. haftalara kadar olgunlaşmaz. Bu nedenle fetüs, erken gebelik dönemindeki kritik gelişim sürecinde, transplasental geçiş yoluyla sağlanan maternal tiroid hormonuna bağımlıdır (Lee and Pearce 2022). Maternal tiroid hormonları, erken gebelik döneminde nöronal göçü, bağlantı oluşumunu, miyelinizasyonu ve sinaptogenezi etkiler, fetal nöral proliferasyon ve migrasyon için gerekli ve hayati öneme sahiptir. (Lee and Pearce 2022; Martinez et al. 2018). Gebeliğin ortalarından itibaren hem annenin hem de fetüsün tiroid hormonları; nörogenez, nöronal migrasyon, sinaptogenez ve miyelinizasyon süreçlerinin desteklenmesinde önemli bir rol oynar

(Martinez et al. 2018). Tiroid hormonları plasenta gelişiminde de etkilidir ve inflamatuar ve metabolik süreçlerin önemli bir düzenleyicisidir (Petca et al. 2023). Gebelik sırasında maternal tiroid fonksiyonunda meydana gelen değişimleri dört başlıkta toplayabiliriz:

1. Tiroksin bağlayıcı globulinin artması (TBG)
2. Human koryonik gonadotropin (hCG) hormon seviyesinin yükselmesi ve bunun tiroid bezini uyarması
3. İyot ihtiyacının artması ve serum iyot düzeyinin azalması
4. Tiroid hormon metabolizmasının değişmesi (Büyükkayacı Duman 2016).

HİPOTİROİD

Hipotiroid T3 ve T4 eksikliği sonucu gelişir. Klinik hipotiroidizm, yüksek serum TSH ve düşük serbest T4 düzeyleri ile tanımlanırken; subklinik hipotiroidizmde serum TSH düzeyleri yüksek, serbest T4 düzeyleri ise normaldir (Lee and Pearce 2022). Gebelik sırasında kontrol altına alınmamış hipotiroidizm; preeklampsi, anemi, plasenta dekolmanı, abortus, düşük doğum ağırlığı, fetüsün psikomotor gelişiminde değişiklikler, yüksek sezaryen oranları, preterm eylem, ablasyo plasenta, fetal mortalite, konjestif kalp yetmezliği ve potansiyel olarak ciddi maternal sonuçlarla ilişkili olabilir (Mahadik et al. 2020; Santos and Santos 2019; Belmahi et al. 2018; Azizi et al. 2014). Birçok belirti gebeliğin normal etkileriyle örtüşebilse de klinik hipotiroidizmi düşündüren semptom ve bulgulara sahip tüm gebelerin tiroid fonksiyonlarının değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir (Lee and Pearce 2022). Gebelerde tiroid fonksiyon taramasının gebeliğin erken döneminde (<10 hafta) yapılması hem fetüste komplikasyon gelişme riskini azaltır hem de maliyet etkinliği artırır (Martinez et al. 2018).

Demir Eksikliği

Gebelik sırasında, annedeki kırmızı kan hücresi kütlesindeki aşırı artış ve hem fetüsün hem de plasentanın büyümesi nedeniyle demir ihtiyacı artar; bu nedenle gebe kadınlar demir eksikliği açısından risk altındadır (Abbas et al. 2023). Demir eksikliği ayrıca merkezi sinir sistemi işlevlerini etkileyip tiroid aksını bozabilir ve bu durum tiroid hormonu düzeylerini etkileyebilir. Demir homeostazı; tiroid işlevleriyle ilişkili çeşitli biyolojik süreçler, proteinler ve DNA için gereklidir (Abbas et al. 2023). Demir eksikliği, izole maternal hipotiroksineminin bağımsız ve önemli bir nedenidir. İyot açısından yeterli koşullarda dahi, demir eksikliği maternal tiroid hormonu düzeylerini düşürebilir. Demir, esas olarak tiroid peroksidaz için temel bir kofaktör görevi görmesi nedeniyle tiroid hormonu sentezi ve metabolizmasında rol oynar. Demir eksikliği, tiroid hormonu sentezini azaltabilir ve böylece hipotiroksinemiye katkıda bulunabilir (Zhou et al. 2026). Moreno-Reyes ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında demir eksikliğinin düzeltilmesinin, gebelik sırasında anemiyi önlemenin yanı sıra optimal tiroid fonksiyonunun korunmasına da yardımcı olabileceği belirtilmiştir. Gupta ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında da demir eksikliğinin subklinik hipotiroidi ve tiroid otoimmünitesi riski ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Garofalo ve arkadaşlarının (2023) meta analiz çalışmasına göre tiroid hormonu düzeylerinin demir eksikliği hastalarında ve özellikle gebe kadınlarda daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Gebelikte iyot metabolizması

İyot, tiroid hormonu sentezi için temel bir substrattır (Zhou et al. 2026). Dünya genelinde, özellikle dağlık bölgelerde ve Orta Afrika, Güney Amerika ve Kuzey Asya'da, hipotiroidizmin en yaygın nedeni iyot eksikliğidir. Tiroid hormonlarının sentezi, yeterli miktarda iyodun tiroid içine girmesine, tiroid içinde normal işleyen iyot metabolizmasına ve normal tiroglobulin sentezine bağlıdır (Reid et al. 2013). İyot yetersizliğinin olduğu bölgelerde, hamile kadınlarda hipotiroidizmin en yaygın nedeni Hashimoto hastalığıdır (kronik tiroidit), bu da vücudun kendi

antikorlarının tiroid bezine saldırdığı otoimmün bir hastalıktır. Gebelikte iyot gereksinimi çeşitli faktörler nedeniyle artar (Lee and Pearce 2022; Reid et al. 2013). İlk olarak, hCG'nin tirotrofik etkileri ve östrojen aracılı TBG (tiroksin bağlayıcı globulin) artışları nedeniyle maternal tiroid hormonu üretimine olan talep yükselir. İkinci olarak, özellikle fetal tiroid bezinin gebeliğin 18-20. haftalarında olgunlaşmasından sonra fetüse iyot geçişi olur (Lee and Pearce 2022). Üçüncü olarak, gebelikte artan kan hacmi ve glomerüler filtrasyon nedeniyle iyotun renal klerensinde artış görülür. Sonuç olarak, gebelikteki maternal iyot gereksinimi, gebelik öncesine kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir (Zhou et al. 2026). Eğer diyetle yeterince iyot alınmaz ise yeterli iyot absorbsiyonunu sağlayabilmek için tiroid bezi hipertrofiye uğrar ve guatr gelişir. İyot eksikliğinde fetüsün iyot otoregülasyonu tam gelişmediği için fetal hipotiroidi meydana gelebilmektedir (Büyükkayacı Duman 2016).

HİPERTİROİDİZM

Hipertiroidizm, tüm gebeliklerin yaklaşık %0,1–0,4'ünü etkileyen; dolaşımdaki tiroid hormonlarının (T4 ve T3) yüksek ve TSH değerinin düşük olmasıyla karakterize nadir bir durumdur (Petca et al. 2023). Klinik hipertiroidizmi olan kadınlarda düşük serum TSH ve yüksek serbest T4 düzeyleri görülürken; subklinik hipertiroidizmi olanlarda düşük serum TSH ve normal serbest T4 düzeyleri saptanır (Lee and Pearce 2022). Klinik hipertiroidizm nadirdir; gebeliklerin yalnızca %0,2'sinde görülür ve en yaygın nedeni Graves Hastalığıdır (Alves Junior et al. 2022). Graves hastalığı ve gestasyonel geçici tirotoksikoz (GTT), gebelikte hipertiroidizmin en sık görülen iki nedenidir (Moleti et al. 2019; Lee and Pearce 2022). Gestasyonel geçici tirotoksikoz, erken gebelik döneminde yükselen insan koryonik gonadotropini (hCG) düzeylerinin etkisiyle ortaya çıkan tiroid hormonu üretimindeki geçici artıştan kaynaklanır (Moleti et al. 2019).

Hipertiroidi, preeklampsiye yatkınlık yaratarak mevcut bir durumu (örneğin hipertansiyonu) şiddetlendirebilir veya doğrudan preeklemsiyi tetikleyebilir (Alves Junior et al. 2022). 12. haftadan önce abortusa, 32. haftadan önce ise erken doğuma, plasentanın erken ayrılmasına, plasenta dekolmanına, venöz tromboza, maternal hipertansiyon ve kalp yetmezliğine yol açabilir. Ayrıca fetüste düşük doğum ağırlığı, intrauterin gelişme geriliği, prematürite, fetal guatr ve fetal hipertiroidizm gibi bozukluklar görülebilir (Murua-Guirado et al. 2024; Gargallo Fernández 2013). Turunen ve arkadaşlarının (2020) yaptığı kohort bir çalışmada hipertiroidi tanısı konmuş gebelerde, gebelik hipertansiyonu bozuklukları, sezaryen doğumlar, plasenta dekolmanı, erken doğumlar, gebelik yaşına göre küçük yenidoğanlar ve yenidoğan yoğun bakım ünitesi tedavisi olasılığının arttığı görülmüştür. Hipertiroidizme bağlı sıcak intoleransı, terleme, iştah artışı, hassasiyet, sinirlilik, anksiyete, yorgunluk, taşikardi, tremor, diffüz guatr, oftalmopati, pretibial miksödem ortaya çıkar (Petca et al. 2023; Büyükkayacı Duman 2016).

Graves hastalığı

Graves hastalığı; TSH reseptörüne karşı yönelen ve tiroid bezini tiroid hormonu üretimi yönünde uyaran otoantikorların üretimiyle hipertiroidizmin ortaya çıktığı bir otoimmün hastalıktır (Andersen & Laurberg 2016). Tiroid hastalıkları arasında Graves hastalığı (GD), tüm gebeliklerin %0,1–%1'inde görülerek (klinik ve subklinik hipertiroidizm sırasıyla %0,4 ve %0,6 oranında) gebelikte hipertiroidizmin en yaygın nedenini oluşturur (Belmahi et al. 2018; Gargallo Fernández 2013). Gebelik ilerledikçe vücudun otoimmün yanıtı genellikle azaldığından, Graves hipertiroidizmi insidansı, ilk trimesterdeki hafif bir artışın ardından ikinci ve üçüncü trimesterlerde düşüş gösterir (Lee and Pearce 2022). Gebelik sırasında hem antitiroid ilaçların hem de kontrol altına alınmamış klinik hipertiroidizmin potansiyel olumsuz etkileri göz önüne alındığında, Graves hastalığı tanısı almış üreme çağındaki kadınlara gebelik planları

konusunda danışmanlık verilmelidir (Lee and Pearce 2022). Graves hastalığı, Graves oftalmopatisine (proptozis, periorbital ödem, göz irritasyonu, artmış gözyaşı salgısı, bulanık görme, retro-orbital ağrı ve diplopi belirtileri), dermopatiye (pretibial bölgede yerleşen, bazen pigmente papüllerin eşlik ettiği, çukurlaşmayan ödem), tiroid akropatisine (el ve ayak parmaklarında yumuşak doku şişliği ve periosteal kemik değişiklikleriyle karakterize, çomak parmak) neden olur (Almotairi et al. 2024). Graves hastalığı olan kadınlara, hastalık kontrol altına alınana kadar gebeliği ertelemeleri ve doğum kontrol yöntemi kullanmaları önerilmelidir (Lee and Pearce 2021; Nguyen et al. 2018). Ayrıca gebelik öncesi dönemde kadınlara; gebelikte hipertiroidizmin ayırıcı tanısı, gebelik sırasında Graves hipertiroidizminin doğal seyri ile laboratuvar testlerinin seçimi ve yorumlanması, gebelikte Graves hipertiroidizminin antitiroid ilaçlarla yönetimi, Graves hipertiroidizmi ile ilişkili komplikasyonlar ve doğum sonrası bakım konularında eğitim verilmesi gerekir (Nguyen and Mestman 2019). Graves hipertiroidizmi olan kadınlar doğum sonrası dönemde yakından izlenmelidir. Hipertiroidi durumu devam eden kadınlar, standart tedavi uygulamalarına göre tedavi edilmelidir. Ötiroid durumdaki kadınlar, doğumdan sonraki ilk yıl içinde Graves hipertiroidizminin nüksetmesi açısından riski altındadır (Nguyen and Mestman 2019).

TİROİD DİSFONKSİYONU OLAN GEBEDE HEMŞİRELİK BAKIMI

Hemşireler; bütüncül bakım sağlama, hasta eğitimini destekleme, ilaç tedavisine uyumu sağlama ve tedavi süreci boyunca hastalara destek olma konularında kilit bir role sahiptir. Hemşireler; hastaların endişelerini dinleyerek ve hastalığın psikolojik etkileriyle başa çıkmaya yönelik stratejiler sunarak duygusal destek sağlarlar. Endokrinologlar ve diğer sağlık uzmanlarıyla iş birliği içinde; bakımın koordinasyonuna, hastaların sevk süreçlerinin kolaylaştırılmasına ve tedavi planlarının hastaların uzun vadeli sağlık hedefleriyle uyumlu olmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca hemşireler, hastalığın seyrini izlemek ve tedavileri gerektiğinde düzenlemek amacıyla düzenli kontrollerin önemi konusunda hastaları bilgilendirirler. Hemşireler; erken doğum, düşük doğum ağırlığı veya düşük gibi komplikasyonları önlemek amacıyla, gebelik süresince tiroid düzeylerinin yönetilmesine, ilaç dozlarının uygun şekilde ayarlanmasına ve düzenli takibin sağlanmasına yardımcı olarak kadınlara destek olurlar. Ayrıca, tiroid işlev bozukluğuna bağlı doğurganlık sorunları yaşayan kadınlara bu konularda danışmanlık hizmeti verirler (Almotairi et al. 2024).

Hipotiroid Olan Gebede Hemşirelik Bakımı

Gebeye ilaçlarını düzenli kullanması konusunda bilgi verilmelidir (Uçar 2020; Büyükkayacı Duman 2016). Demir ve kalsiyum içeren vitaminler, tiroid hormonunun sindirim sisteminden elimini bozduğu için tiroid ilacı ile vitaminler aynı anda alınmamalı, en az 4-6 saat arayla alınmalıdır (Uçar 2020). Hipotiroidinin semptomları (halsizlik, konstipasyon, soğuya tahammülsüzlük, kas krampları) ve bu semptomları yönetmeye yönelik olarak; soğuk intoleransına yönelik ılık bir ortam sağlanması, konstipasyonu önlemeye yönelik sıvı alımının artırılması ve posalı gıdalar tüketilmesi gibi konularda gebeye bilgi verilmelidir (Büyükkayacı Duman 2016). Gebe, demir bakımından zengin gıdaları (hayvansal karaciğer ve kırmızı et gibi) tüketmeye teşvik edilmelidir. Kanıtlar, gebelik sırasında verilen beslenme eğitiminin; demir-folik asit takviyesine uyumu önemli ölçüde artırabileceğini, hemoglobin düzeylerini yükseltebileceğini ve gebelikte demir eksikliği anemisi riskini azaltabileceğini göstermektedir (Zhou et al. 2026). Hemşireler; tiroid disfonksiyonu riski yüksek olan kadınların belirlenmesine, bu kadınlara taramalarını zamanında tamamlamalarının hatırlatılmasına, tarama uyumunun artırılmasına ve erken teşhis, erken değerlendirme ve erken müdahalenin teşvik edilmesine odaklanmalıdır (Zhou et al. 2026). Doğumdan sonraki en az 6 ay boyunca tiroid

fonksiyon testleri izlenmelidir (Sahay and Nagesh 2012).

Hipertiroidizm Olan Gebede Hemşirelik Bakımı

Tıbbi yönetimin temel amacı, mümkün olan en düşük antitiroid ilaç dozu kullanılarak, gebelik boyunca hastanın tiroid fonksiyonlarının yüksek ötiroid veya sınırda hipertiroid düzeyde tutulmasını sağlamaktır (Korevaar ve ark., 2026). Tiroid fonksiyon testinin sonucuna göre ilaç dozu tedavi başladıktan sonra genellikle 4-6 hafta sonra azaltılabilmektedir. Antitiroid ilaç alan annenin bebeğinin doğar doğmaz kordon kanından örnek alınarak tiroid fonksiyonları değerlendirilmelidir. Hastanede yatan gebelerin yaşam bulguları ve non stres test ile fetüsün kalp atımları takip edilmelidir. Hekim önerisi ile verilen antitiroid ilaçlarının dozu, kullanım şekli, yan etkileri gibi konularda gebe bilgilendirilmelidir (Büyükkayacı Duman 2016). Gebelere, yaşanan huzursuzluğu ve sinirliliği azaltabilmek için stresten uzak durması, dinlendirici ortam oluşturması, parlak ışık yerine daha loş ışık tercih etmesi, bulunduğu ortamı sık sık havalandırarak serin bir çevre sağlaması önerilebilir (Uçar 2020). Hipertiroidisi olan annelerin bebekleri, doğumdan hemen sonra ilgili uzmanlık alanlarından hekimler tarafından değerlendirilmelidir. Olası komplikasyonlar arasında; annenin antitiroid ilaç tedavisine bağlı olarak doğumda görülen hipotiroidi; tedavi edilmemiş veya yetersiz tedavi edilmiş annelerde görülen santral hipotiroidi; ve antitiroid ilaçlarının transplasental geçişinin sağladığı terapötik etkinin doğumdan sonraki 48 saat içinde kaybolması nedeniyle doğumdan birkaç gün sonra klinik belirti verebilen neonatal hipertiroidi yer almaktadır (Mestman 2012).

SONUÇ

Gebelikte tiroid disfonksiyonunun yaşanması hem maternal hem de fetal/neonatal sağlığı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu süreçte, tanılama ve ilaç tedavisinin yanı sıra bütüncül bir hemşirelik yaklaşımı ile gebelerin tedaviye uyumları ve optimal hasta sonuçlarının sağlanması artırılabilir. Hemşireler; gebelerin tedaviye uyumlarının desteklenmesi, ilaçların doğru ve düzenli kullanımına ilişkin eğitim verilmesi, tiroid fonksiyonlarının ve klinik belirtilerin izlenmesi, maternal-fetal iyilik halinin değerlendirilmesi ve gebeye psikososyal destek sağlanmasında multidisipliner ekibin önemli bir üyesidir. Bu doğrultuda tiroid disfonksiyonu olan gebelere yönelik bütüncül hemşirelik bakımının güçlendirilmesi, hemşirelerin konuya ilişkin bilgi ve farkındalıklarının artırılması ve hemşirelik bakımının fetüs ve yenidoğan üzerindeki etkisini ortaya koyan kanıta dayalı çalışmalara yoğunlaşılması önerilmektedir.

Yazar katkıları

Fikir – DK; Tasarım – DK, FÖT; Literatür taraması – DK, FÖT; Kaynaklar – DK, FÖT; Makaleyi yazan – DK, FÖT; Eleştirel inceleme – DK, FÖT.

Etik kurul beyanı

Bu çalışma derleme niteliğinde olduğundan etik kurul onayı alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yapay Zeka Beyanı

Yazarlar, yapay zeka araçlarını çeviri amacıyla kullanıldığını beyan eder. Yapay zeka araçları, bilimsel içeriğin oluşturulması, analizi veya yorumlanması amacıyla kullanılmamıştır.

KAYNAKLAR

Abbas W, Elmugabil A, Hamdan HZ, Rayis DA, Adam I (2023) Iron deficiency and thyroid dysfunction among sudanese women in first trimester of pregnancy: a cross-sectional study. BMC Endocrine Disorders. 23:223

Almotairi JA, Al-Otaibi NMM, Alhubail MSM, Al-Mutairi AZ, Alotaibi DDA, Dahish AA, et

al. (2024) Biochemical Mechanisms of Autoimmune Thyroid Diseases: Enhancing Nursing Interventions for Diagnosis, Management, and Holistic Patient Care. J. Med. Chem. Sci., 7(11) 1627-1646.
Alves Junior JM, Bernardo WM, Ward LS and Villagelin D (2022) Effect of Hyperthyroidism Control During Pregnancy on Maternal and Fetal Outcome: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front. Endocrinol. 13:800257.
Andersen SL, Laurberg P (2016) Managing hyperthyroidism in pregnancy: current perspectives, International Journal of Women's Health, 497-504.
Azizi F, Amouzegar A, Mehran L, Alamdari S, Subekti I, Vaidya B, et al. (2014) Screening and management of hypothyroidism in pregnancy: Results of an Asian survey. Endocrine Journal, 61(7), 697-704.
Belmahi N, Boujraf S, El Ouahabi H. (2018) Thyroid and Pregnancy. Reprod Dev Med. 2;162-70.

Birol L. Endokrin Sistemi Hastalıkları ve Hemşirelik Bakımı. Editör: Akdemir N, Birol L. İç Hastalıkları ve Hemşirelik Bakımı. Sistem Ofset. 8. Baskı, Ankara. 2023. s. 679.
Büyükkayacı Duman N. Gebelikte Sık Görülen Bazı Sistemik Hastalıklar. Editörler Şirin A, Kavlak O. Kadın Sağlığı. Nobel Tıp Kitabevleri. 2. Baskı. 2016. s. 354.
Gargallo Fernández M. (2013) Hipertiroidismo y embarazo. Endocrinol Nutr. 60: 535-543.
Garofalo V, Condorelli RA, Cannarella R, Aversa A, Calogero AE, La Vignera S. (2023) Relationship between Iron Deficiency and Thyroid Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. Nutrients. 15, 4790.
Gupta N, Narayan A, Tonk R S, Gupta SK, Narayan A (2022) Study of Relationship Between Iron Deficiency and Thyroid Function in Pregnant Females. Cureus 14(12): e32411.
Karaveli Çakır S. Endokrin sistem ve ilişkili hastalıklar. Çeviri Editörleri: Yılmaz M, Seki Z. Patofizyolojinin esasları. İstanbul Tıp Kitabevleri. 2018. s. 370.
Kızılkaya Beji N, Aydın Özkan S. Gebelikte Görülen Fizyolojik/Psikolojik Değişiklikler. Editör: Kızılkaya Beji N. Hemşire ve Ebelere Yönelik Kadın Sağlığı ve Hastalıkları. Nobel Tıp Kitabevleri. 2015. İstanbul. s. 235.
Korevaar, T. I. M., Leung, A. M., Alexander, E. K., et al. (2026). *American Thyroid Association 2026 guidelines for thyroid disease in preconception, pregnancy, and postpartum*. **Thyroid, 36**(5), 481–544.
Lee SY, Pearce EN (2022) Assessment and treatment of thyroid disorders in pregnancy and the postpartum period. Nat Rev Endocrinol. 18(3): 158–171.
Lee SY, Pearce EN (2021) Testing, Monitoring, and Treatment of Thyroid Dysfunction in Pregnancy. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 106(3): 883–892.
Mahadik K, Choudhary P, Roy PK (2020) Study of thyroid function in pregnancy, its feto-maternal outcome; a prospective observational study. BMC Pregnancy and Childbirth (2020) 20:769.
Martinez M, Soldevila B, Lucas A, Velasco I, Vila L, Puig-Domingo M (2018) Hypothyroidism during pregnancy and its association to perinatal and obstetric morbidity: a review. Endocrinología, Diabetes y Nutrición. 65(2):107-113.
Mestman JH (2012) Hyperthyroidism in pregnancy. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes, 19(5): 394-401.
Moreno-Reyes R, Corvilain B, Daelemans C, Wolff F, Pena CF, Vandevijvere S (2021) Iron Deficiency Is a Risk Factor for Thyroid Dysfunction During Pregnancy: A Population-Based Study in Belgium. Thyroid. 31(12): 1868-1877.

Moleti M, Mauro MD, Sturniolo G, Russo M, Vermiglio F (2019) Hyperthyroidism in the pregnant woman: Maternal and fetal aspects. Journal of Clinical & Translational Endocrinology. 16: 100190.
Murua-Guirado P, Reyes-Pérez ND, Marquez-Marquez M, Padilla-Languré M (2024) Nursing care process in pregnant women with hyperthyroidism. SANUS.9:e434.
Nguyen CT, Mestman JH (2019) Graves' hyperthyroidism in pregnancy. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes, 26 (5): 232–240.
Nguyen CT, Sasso EB, Barton L, Mestman JH (2018) Graves' hyperthyroidism in pregnancy: a clinical review. Clinical Diabetes and Endocrinology. 4:4.
Petca A, Dimcea DAM, Dumitrascu MC, Sandru F, Mehedintu C, Petca RC. (2023) Management of Hyperthyroidism during Pregnancy: A Systematic Literature Review. J. Clin. Med. 12, 1811.
Reid SM, Middleton P, Cossich MC, Crowther CA, Bain E. (2013) Interventions for clinical and subclinical hypothyroidism pre-pregnancy and during pregnancy. Cochrane Database of Systematic Reviews. Issue 5. Art. No.: CD007752.
Sahay RK, Nagesh VS. (2012) Hypothyroidism in pregnancy. Indian Journal of Endocrinology and Metabolism;16(3): 364-70.
Santos NH, Santos MJ (2019) Revisão Baseada na Evidência: Rastreio Universal de Disfunção Tiroideia na Pré-conceção e na Gravidez. Revista Portuguesa de Endocrinologia, Diabetes e Metabolismo. 14(1): 8-12.
Springer D, Jiskra J, Limanova Z, Zima T, Potlukova E (2017) Thyroid in pregnancy: From physiology to screening, Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 54:2, 102-116.
Turunen S, Vääräsmäki M, Lahesmaa-Korpinen A-M, et al. (2020) Maternal hyperthyroidism and pregnancy outcomes: A population-based cohort study. Clin Endocrinol (Oxf). 93:721–728.
Uçar T. Riskli gebeliklerde izlem ve bakım. Editörler: Şentürk Erenel A, Vural G. Hemşireler ve Ebeler için Perinatal Bakım. İstanbul Tıp Kitabevleri, 2020, 1. Baskı. s. 227.
Zhou X, Peng X, Li L, Wang L. (2026) Research Progress in Nursing Interventions for Isolated Maternal Hypothyroxinemia during Pregnancy. Journal of Biosciences and Medicines, 14, 8-21.

VOLEYBOLCULARDA ISINMA SIRASINDA FOAM ROLLER UYGULAMASININ AKUT SIÇRAMA PERFORMANSINA ETKİLERİ: SİSTEMATİK DERLEME

Şener MUTLU
Bursa Uludağ University, Faculty of Sport Sciences, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1711-6048
Doç. Dr. Sadettin EROL
Bursa Uludağ University, Faculty of Sport Sciences, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1544-4128
Doğukan GAZİOĞLU
Bursa Uludağ University, Faculty of Sport Sciences, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0006-1450-3460

ÖZET

Amaç: Voleybolcularda ısınma sırasında uygulanan titreşimli ve titreşimsiz foam rollerın akut sıçrama performansına etkilerini karşılaştırıcı koşul ve ölçüm zamanı açısından değerlendirmektir. Yöntem: PubMed, Europe PMC, SPORTDiscus, Scopus ve Web of Science Core Collection 16 Ekim 2026 tarihinde tarandı; çok dilli yayıncı aramaları ve kaynakça incelemesi yapıldı. Voleybolcuları içeren karşılaştırmalı, egzersiz öncesi tek-seans çalışmalar ana senteze alındı. Tekrarlı ısınma oturumlarını inceleyen raporlar ayrı değerlendirildi. Yanlılık kaynakları gerekçeli alan incelemesiyle ele alındı. Eksik karşılaştırmalı varyanslar, raporlama sorunları ve yöntemsel heterojenlik nedeniyle meta-analiz yapılmadı. Bulgular: Veri tabanlarından 75 kayıt elde edildi; 28 tekrar kaldırıldı. Diğer yöntemlerden üç ek rapor belirlendi. On tek-seans raporu ana senteze, iki tekrarlı-oturum raporu destekleyici incelemeye alındı. Ana çalışma örneklemleri 8–68 sporcudan oluşuyordu. Bir yayında yöntem bölümündeki 15 kişi ile sonuç tablosundaki 12 kişi uyuşmuyordu. Bir çapraz çalışmada titreşimsiz uygulama sonrası derinlik sıçraması ikinci dakikada 26,68±5,66 cm'den 27,82±5,29 cm'ye yükseldi; beşinci dakikadaki artış anlamlı değildi. Bu grup içi değişim kontrol koşuluna üstünlüğü tek başına göstermez. Başka bir çalışmada ilk on dakikada squat sıçrama artışı bildirilirken karşılaştırmalı değişim farkı sunulmadı. Altmış sekiz kişilik paralel çalışmada sıçrama değişimlerinin gruplar arası testi anlamlı değildi (p=0,158). Aktif ısınma karşılaştırmaları tutarlı FR üstünlüğü göstermedi; bazı yayınların sonuç iddiaları sayısal tablolarıyla uyuşmadı. Sonuç: Mevcut karşılaştırmalı kanıtlar, foam rollerın voleybolcularda sıçramayı güvenilir biçimde artırdığını desteklemek için yetersizdir. Optimal doz veya bekleme süresi belirlenemez; anlamsız farklar eşdeğerlik kanıtı değildir. Küçük örneklemler, sıralama ve analiz sorunları kesinliği sınırlar. Bağımsız araştırmacı doğrulaması ve formal yanlılık değerlendirmesi tamamlanmadan sonuçlar ihtiyatla kullanılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Voleybol, foam roller, sıçrama, ısınma, sistematik derleme

ACUTE EFFECTS OF PRE-PERFORMANCE FOAM ROLLING ON JUMP PERFORMANCE IN VOLLEYBALL PLAYERS: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

Objective: To evaluate the acute effects of vibrating and non-vibrating pre-performance foam rolling on jump performance in volleyball players, considering comparators and assessment timing. Methods: PubMed, Europe PMC, SPORTDiscus, Scopus and Web of Science Core Collection were searched on 16 October 2026, supplemented by multilingual publisher searches and reference checking. Comparative single-bout studies formed the primary synthesis;

repeated warm-up-session reports were considered separately. Sources of bias were examined using reasoned domain assessments. Missing comparative variances, reporting problems and methodological heterogeneity prevented a defensible meta-analysis. Results: Database searches yielded 75 records; 28 duplicates were removed. Three additional reports were identified through other methods. Ten single-bout reports were included in the primary synthesis and two repeated-session reports as supporting evidence. Primary samples ranged from 8 to 68 athletes. One report stated 15 participants in its methods but 12 in its outcome table. In one crossover study, drop-jump height increased from 26.68±5.66 to 27.82±5.29 cm two minutes after non-vibrating rolling; the five-minute increase was nonsignificant. This within-condition change alone does not establish superiority over control. Another study reported squat-jump improvements during the first ten minutes without presenting comparative change estimates. In a 68-participant parallel study, between-group jump changes were nonsignificant (p=.158). Active-comparator findings did not establish consistent foam-rolling superiority; several conclusions conflicted with numerical tables. Conclusion: Current comparative evidence is insufficient to support a reliable jump-performance benefit from foam rolling in volleyball players. Optimal dosage or timing cannot be determined. Nonsignificant findings do not establish equivalence. Small samples, sequencing and analytical problems limit certainty. Independent researcher verification and formal risk-of-bias assessment remain necessary.
Keywords: Volleyball, foam rolling, jumping, warm-up, systematic review

1. GİRİŞ

Voleybolda smaç ve blok gibi eylemler sıçrama kapasitesini gerektirir; buna karşılık laboratuvarda ölçülen squat sıçrama (SJ), karşı hareket sıçraması (CMJ), derinlik sıçraması (DJ) ve kol salınımlı sıçrama aynı motor görevi temsil etmez. Isınmanın başarısı bu görevler arasında farklılaşabilir. Bu nedenle tek bir testteki kısa süreli değişimin müsabaka performansına doğrudan aktarılması uygun değildir (Tsai ve Chen, 2021; Carreño ve ark., 2021).

Foam roller (FR), sporcunun vücut ağırlığını silindir üzerinde kullanarak yumuşak dokulara basınç uyguladığı bir yöntemdir. Titreşimli FR ek bir mekanik uyaran içerdiği için titreşimsiz uygulamayla aynı müdahale gibi değerlendirilmemelidir. Hareket açıklığındaki artış kendiliğinden sıçrama artışı anlamına gelmez. Koşulların kendi başlangıçlarına göre farklı anlamlılık örüntüleri göstermesi de bu iki uygulama arasında kanıtlanmış fark bulunduğu anlamına gelmez (Tsai ve Chen, 2021).

Mielniczek ve van den Tillaar'ın (2026) geniş kapsamlı derlemesi çeşitli voleybol ısınmalarını birlikte incelemiş, taramasını 12 Kasım 2025 tarihinde sonlandırmıştır. Buradaki dar soru, FR'nin sıçramaya etkisini karşılaştırıcı ve test zamanı üzerinden yeniden değerlendirmektir. Türkçe ve İspanyolca raporlar ile 2026 yayınları ayrıca incelenmiştir. Çalışmanın katkısı, ilk derleme olduğu iddiasına değil, sayısal tabloların denetlenmesine ve grup içi değişim ile koşullar arası etki ayrımına dayanır.

Araştırma sorusu şudur: Voleybolcularda egzersiz öncesi bir FR uygulaması, pasif hazırlığa veya başka bir aktif ısınmaya göre aynı gün ölçülen sıçrama performansını değiştirir mi? İkinci amaç, uygulama dozu, ölçüm zamanı ve araştırma tasarımının bu çıkarımı nasıl sınırladığını belirlemektir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Araştırma yöntemi

Bu çalışma, PRISMA 2020'nin raporlama ilkeleri ve meta-analiz yapılmayan sentezler için SWiM yaklaşımı dikkate alınarak hazırlanmıştır; bütün maddeler için tamamlanmış uyum iddiası yoktur (Page ve ark., 2021; Campbell ve ark., 2020). Konu seçimi için keşif taraması

yapıldıktan sonra, formel API taramasından önce 16 Ekim 2026 tarihli çalışma protokolü kaydedilmiştir. Protokol kamuya açık bir kayıt sistemine önceden kaydedilmemiştir.

PICOS kapsamında popülasyon sağlıklı voleybolcular; müdahale alt ekstremiteye egzersiz öncesi titreşimli veya titreşimsiz FR; karşılaştırıcı pasif kontrol ya da aktif ısınma; sonuç SJ, CMJ, DJ veya diğer dikey sıçrama ölçümleri ile sıçramadan türetilen güç; tasarım ise karşılaştırmalı deneysel çalışmalardır. Randomizasyon zorunlu tutulmamıştır. Karma spor örneklemlerinde voleybola özgü sonuçlar ayrıştırılamıyorsa kayıt ana senteze alınmamıştır. Kronik FR antrenmanı, egzersiz sonrası toparlanma, üst ekstremite odaklı performans ve sıçrama sonucu olmayan çalışmalar dışlanmıştır. Dil filtresi uygulanmamış; ulaşılabilen Türkçe, İngilizce ve İspanyolca raporlar değerlendirilmiştir.

PubMed'de MeSH ve başlık/özet terimleri, Europe PMC'de başlık/özet alanları 16 Ekim 2026 tarihinde sorgulanmıştır. Aynı gün Bursa Uludağ Üniversitesi VETİS oturumuyla SPORTDiscus, Scopus ve Web of Science Core Collection taranmıştır. Nüfus bloğu volleyball/voleybol ve abonelik taramalarında İspanyolca voleibol köklerini; müdahale bloğu foam rolling/roller, self-myofascial release, roller massage ve rolling massage terimlerini içermiştir. Sıçrama arama filtresi yapılmamıştır. PubMed ve Europe PMC'de 1900–16 Ekim 2026 yayın tarihi aralığı kullanılmış; abonelik kaynaklarında dil/tarih filtresi uygulanmadan uygunlukta aynı son tarih esas alınmıştır. Kurumsal kapsamın başlangıç yılı ayrıca doğrulanmamıştır. Europe PMC ve PubMed örtüşen kaynaklardır.

SPORTDiscus'ta nüfus terimleri başlık, özet veya konu; müdahale terimleri tüm metin alanında aranmıştır. Önceki tüm-metin nüfus pilotu 314 sonuç vermiş; tarama yükünü ve konu dışı atıf eşleşmelerini azaltmak için kayıt elemesinden önce bu alan daraltması yapılmış ve formel sorgu 40 kayıt vermiştir. Kavram genişletme ve otomatik düzeltme varsayılanları açık; tam metin ve hakemlik filtreleri kapalıdır. Scopus'ta başlık/özet/anahtar kelime, Web of Science'ta Topic alanları kullanılmıştır. SPORTDiscus XML ve Web of Science tam kayıt dışa aktarımları saklanmıştır. Scopus'un dokuz kaydı ve açılan özetleri arayüzden okunup kimlikleri kaydedilmiştir; ayrı kişisel oturum isteyen dosya dışa aktarımı elde edilmemiştir. Dizeler, ham kayıtlar ve erişim koşulları denetim ekindedir.

DergiPark, yayıncı siteleri ve İngilizce, Türkçe ve İspanyolca web sorguları ek keşif için kullanılmıştır. Güncel ısınma derlemesinin ve aday birincil çalışmaların kaynakçaları izlenmiştir. Web aramasının bütün sonuçları sayılmamış; yalnızca kimliği belirlenen aday raporlar karar kaydına geçirilmiştir. Google Scholar arayüzünde kapsamlı tarama yapıldığı ileri sürülmemektedir. Ergin (2020) ve Sağıroğlu ve arkadaşları (2017), güncel bağlantılarından elde edilemedikleri için resmî dergi PDF'lerinin Internet Archive kopyalarından; Eyuboglu ve arkadaşları (2026) kurumsal erişimli yayıncı HTML metninden değerlendirilmiştir.

Kayıtlar DOI, PMID ve başlık üzerinden eşleştirilmiştir. Yöntem, örneklem, koşul sırası, uygulama dozu, ölçüm aracı, zaman ve sayısal sonuçlar birincil raporlardan çıkarılmıştır. Belgelerin elde edilmesi ve çıkarımı yapay zekâ destekli yürütülmüş; ayrı alt görevlerin çıktıları birleştirilmiştir. Bu işlem bağımsız iki insan araştırmacının yaptığı eleme veya veri çıkarımı olarak sunulmamıştır. İnsan tarafından bağımsız doğrulama henüz tamamlanmamıştır.

Yanlılık değerlendirmesi randomizasyon ve sıralama, tahsis gizliliği, körleme ve beklenti, eksik veri, ölçüm, dönem/taşıma etkileri, seçici raporlama ve analiz bağımlılığı alanlarında gerekçelendirilmiştir. Randomize olmayan tasarımlara RoB 2 uygulanmamış; resmi olarak tamamlanmış RoB 2, ROBINS-I veya GRADE sınıfları üretilmemiştir. Bu durum yöntemin sınırlılığıdır; değerlendirmeler kaynaklara dayalı yapılandırılmış alan gerekçeleridir.

Anlatısal sentezde pasif ve aktif karşılaştırıcılar; FR'nin tek başına ve mevcut ısınmaya eklenerek kullanılması; SJ, CMJ, DJ ve tahmini güç sonuçları ayrı tutulmuştur. Aynı kişilerin

farklı koşulları bağımsız sporcular gibi sayılmamıştır. Eşleştirilmiş fark varyansı olmadığında korelasyon uydurulmamıştır. Uygun t veya kesin p değerlerinden belirsizlik bazı durumlarda geri kazanılabilir; ancak tasarım ve raporlama sorunları ile farklı karşılaştırıcı ve sonuçlar ortak havuzlamayı savunulur kılmamıştır (Higgins ve ark., 2024). Paralel çalışmalarda varyans bulunması da tek başına klinik olarak farklı deneylerin birleştirilmesini gerekçelendirmez. Anlamlı sonuçların sayımına dayalı etkinlik oylaması yapılmamıştır.

On tek-seans raporu ana senteze ayrılmıştır; bunlar aynı kişilerin farklı günlerdeki koşullarını veya paralel grupları karşılaştırmaktadır. Haftalar boyunca tekrarlanan ısınma oturumları sonrasındaki performansı bildiren Popelka raporları, akut etkiyi dönem ve alışmadan ayıramadıkları için destekleyici kanıt olarak ayrıca ele alınmıştır. Bu kapsam açıklaması maruziyet ve ölçüm yapısına dayanır; sonucun yönüne göre uygunluk değiştirilmemiştir.

2.2. Kayıt seçimi ve kanıt kapsamı

PubMed 8, Europe PMC 8, SPORTDiscus 40, Scopus 9 ve Web of Science Core Collection 10 olmak üzere 75 kayıt bulunmuştur. DOI, PMID ve başlık eşleştirmesiyle 28 tekrar kaldırılmış; 47 benzersiz veri tabanı kaydı kalmıştır. Bunların 37'si başlık/özet aşamasında dışlanmış, 10 raporun tam metni aranmıştır. Bu 10 metnin tamamı elde edilmiş; FR içermeyen bir çalışma tam metinde dışlanmıştır. Kalan dokuz raporun yedisi ana, ikisi destekleyici incelemeye alınmıştır.

Diğer yöntemlerden veri tabanı sonuçlarında bulunmayan üç rapor belirlenmiştir: Beyleroğlu ve arkadaşları (2021), Carreño ve arkadaşları (2021) ve Sağıroğlu ve arkadaşları (2017). Üçü de tam metinden değerlendirilerek ana senteze alınmıştır. Toplam 13 tam metin aranmış ve değerlendirilmiş; FR müdahalesi içermeyen bir rapor dışlanmıştır. On tek-seans ve iki tekrarlı-oturum raporu sentezlenmiş; değerlendirme bekleyen tam metin kalmamıştır. Akış raporları sayar; kongre özetiyle aynı veri setinin ikinci yayını bağımsız deney gibi sayılmamıştır.

Ana çalışma örneklemleri 8–68 kişi aralığındadır. Beyleroğlu ve arkadaşları (2021) yöntemde 15, sonuç tablosunda 12 kişi bildirmiştir. Toplam analiz örneklemi bu nedenle tek bir kesin sayı olarak sunulmamıştır. İki Popelka raporundaki olası katılımcı örtüşmesi doğrulanmadığından destekleyici örneklemler de kesin benzersiz kişi sayısına eklenmemiştir.

2.3. Ana senteze alınan çalışmalar

Tablo 1. Ana senteze alınan tek seans çalışmaları

Çalışma ve tasarım	**Uygulama ve karşılaştırıcı**	**Sıçrama bulgusu ve sınırlılık**
Tsai ve Chen 2021 n=16 erkek Randomize çapraz	FR 15 dk; aynı doz 45 Hz titreşim; 15 dk otururak kontrol. DJ: 2. ve 5. dk.	DJ FR: 26,68±5,66 → 27,82±5,29 cm (2 dk); kendi başlangıcına göre p=0,001. Etkileşim p=0,022. İkili FR–kontrol kesinliği verilmemiş; 5 dk bulgusu anlamlı değil.
Carreño ve ark. 2021 n=23 kız Randomize sıralı çapraz	FR 3×60 sn, 30 sn dinlenme; pliometrik ısınma. Yedi gün ara.	CMJ FR: 22,9±4,2 → 22,0±4,1 cm. Koşullar arası son-test p=0,70. Çapraz verinin bağımsız örneklem olarak analizi; etki büyüklükleri tutarsız.
Beyleroğlu ve ark. 2021 yöntem n=15 kadın; sonuç n=12 Sabit sıra	Dinamik germe; sonraki oturumda germe+FR. Dört kas bölgesi 2×30 sn; 48 sa ara.	SJ 28,28±4,09 ve 31,34±4,63 cm; CMJ 29,24±4,32 ve 32,52±3,93 cm; p=0,002. Sıra/öğrenme ve açıklanmayan analiz örneklemi.

Çalışma ve tasarım	Uygulama ve karşılaştırıcı	Sıçrama bulgusu ve sınırlılık
Akçay ve ark. 2023 n=8 erkek Sabit sıra	Statik+dinamik germe; sonraki oturumda ek FR, dört kas bölgesi 2×30 sn. 72 sa ara.	Aktif sıçrama 39,2±1,72 ve 39,1±1,92 cm; p=0,89. Tekrarlı 15 sn sıçrama tablosundaki sayılar/p değerleri açıklama gerektiriyor.
Güngör 2024 n=18 kız Çapraz tasarım; sıra belirsiz	FR veya dinamik germe: 2 dk koşu+10 dk protokol; geleneksel ısınma 10 dk.	Tahmini güç, W. FR için SJ/CMJ/VJ grup içi p=0,081/0,795/0,336. CMJ son-test dinamik germe>FR, yazarca p<0,05; kesin kontrast/GA yok. Özet SJ iddiası tabloyla uyuşmuyor.
Acar ve ark. 2026 n=22 erkek Üç dönemli randomize çapraz	5 dk koşu+8 dk FR; dinamik ısınma veya yalnız koşu. Bir hafta ara. SJ: 0/5/10/15 dk.	FR SJ değişimi: +4,271/+4,587/+2,410/+1,367 cm. İlk üçü grup içi anlamlı; 15 dk değil. Karşılaştırmalı değişim farkı ve belirsizliği sunulmamış.
Ergin 2020 n=21 (12 erkek, 9 kadın) Randomize sıralı çapraz	5 dk koşu sonrası FR; dinamik germe; birleşik protokol. Dört bölge 3×30 sn, 30 sn ara; 48–72 sa dönem arası.	CMJ dinamik/FR/birleşik: 45,34±11,87 / 45,61±10,52 / 46,46±11,18; omnibus p=0,46. Birim açık değil; ön-test yok; bağımlı tasarımla analiz tanımı uyumsuz.
Meriçli ve Tutar 2024 n=13 kadın Randomize olarak tanımlanmış paralel	FR n=7; aktivasyon n=6. FR alt ekstremite ve latissimus bölgelerinde 30 sn. Ön-test zamanı çelişkili.	FR dikey sıçrama 59,33±5,87 → 56,99±4,64; grup içi p=0,091, son-test gruplar arası p=0,086. Birim/cihaz açıklanmamış; başlangıca göre düzeltilmiş etki yok.
Eyuboglu ve ark. 2026 n=68 (34 erkek, 34 kadın) Randomize paralel	5 dk bisiklet sonrası FR n=24, perküsif masaj n=25, dinamik germe n=19. FR dört bölgeye bilateral 30 sn.	FR CMJ 53,92±9,81 → 54,54±9,78 cm; değişim +0,62±2,12 cm. Üç grup değişim testi p=0,158. Üstünlük anlatısı tabloyla desteklenmiyor; ölçüm ayrıntıları eksik.
Sağıroğlu ve ark. 2017 n=18 kadın Randomize sıralı çapraz	Ortak 5 dk bisiklet; kontrol veya dört bölgeye 2×30 / 2×60 sn FR. 48 sa ara. CMJ 1 dk sonra.	Kontrol/FR30/FR60 CMJ: 30,13±3,26 / 29,38±4,05 / 28,98±3,54 cm; F=0,468; p=0,629. Cihazın titreşim durumu ve bağımlı analiz modeli açıklanmamış.

2.4. Karşılaştırıcı ve zamana göre sonuçlar

Tsai ve Chen (2021), 16 erkek sporcuda FR sonrası DJ yüksekliğinde ikinci dakikada başlangıca göre 1,14 cm artış; pasif kontrolde 0,09 cm artış bildirmiştir. Protokol×zaman etkileşimi p=0,022'dir. Doğrudan FR–kontrol ikili farkının kesin p değeri veya eşleştirilmiş güven aralığı verilmediğinden 1,05 cm'lik betimsel değişim farkına kesin bir karşılaştırmalı etki anlamı yüklenemez. Beşinci dakikada FR'nin grup içi artışı anlamlı değildir. Titreşimli uygulamada DJ yüksekliği için anlamlı artış saptanmamıştır; bu, titreşimli ve titreşimsiz koşulların doğrudan farklı olduğunu kanıtlamaz.

Acar ve arkadaşlarında (2026) 22 erkek ergende FR koşulundaki SJ değişimleri başlangıca göre 0., 5. ve 10. dakikalarda sırasıyla +4,271, +4,587 ve +2,410 cm olarak bildirilmiştir. On beşinci dakikadaki +1,367 cm artış anlamlı değildir. Koşul×zaman etkileşimi veya FR ile dinamik ısınma arasındaki eşleştirilmiş değişim farkının güven aralığı sonuç tablosunda sunulmamıştır. FR'de anlamlılık bulunması ve diğer koşullarda bulunmaması, tek başına koşullar arasında anlamlı fark olduğunu göstermez. Ayrıca koşulların toplam süresi kontrolle eşit değildir.

Sağıroğlu ve arkadaşlarında (2017), 18 kadın sporcu kontrol, 30 saniye ve 60 saniyelik FR dozlarını 48 saat aralı ve randomize sıralı koşullarda tamamlamıştır. Beş dakikalık bisiklet tüm koşullarda ortak; FR dört bölgeye iki set uygulanmış, CMJ bir dakika sonra ölçülmüştür. Kontrol/FR30/FR60 CMJ değerleri 30,13±3,26 / 29,38±4,05 / 28,98±3,54 cm'dir (F=0,468; p=0,629). Anlamsız sonuç dozların eşdeğerliğini göstermez. Vyper cihazının titreşim durumu açıklanmadığından bu çalışma doğrulanmış titreşimli FR deneyi sayılmamıştır. Bağımlı koşulların nasıl modellendiği ve kontrolle toplam süre eşitliği belirsizdir.

Mevcut ısınmaya FR eklenmesini inceleyen Beyleroğlu ve arkadaşları (2021), dinamik germe ile dinamik germe+FR arasında SJ için 3,06 cm, CMJ için 3,28 cm fark bildirmiştir. Ancak bütün sporcuların önce germe, sonra germe+FR koşulunu uygulaması dönem ve öğrenme etkilerini müdahaleden ayırmayı güçleştirir. Açıklanmayan 15/12 kişi uyuşmazlığı da sonuçların ağırlığını azaltır. Akçay ve arkadaşlarında (2023) benzer biçimde sabit sırayla yapılan karşılaştırmada aktif dikey sıçrama 39,2±1,72 ve 39,1±1,92 cm'dir; p=0,89'dur. Bu iki küçük rapordan FR eklemenin güvenilir yararı çıkarılamaz.

Aktif ısınmalara karşı FR üstünlüğü tutarlı değildir. Carreño ve arkadaşlarında (2021) FR koşulunda CMJ yüksekliği azalmış; FR–pliometrik son-test karşılaştırması p=0,70 bulunmuştur. Çapraz tasarımın bağımsız gruplar gibi analiz edilmesi çıkarımı zayıflatır. Ergin'de (2020) 21 sporcu dinamik germe, FR ve birleşik koşulları randomize sırayla tamamlamıştır. CMJ ortalamaları sırasıyla 45,34±11,87, 45,61±10,52 ve 46,46±11,18; omnibus p=0,46'dır. Başlangıç ölçümü yoktur; tablo birimi açıkça belirtmemiştir. Analiz açıklamasında bağımsız grup testleri yer aldığından koşul bağımlılığının nasıl modellendiği belirsizdir.

Güngör'de (2024) FR'nin SJ, CMJ ve diğer dikey sıçrama için tahmini güç değişimlerinin p değerleri 0,081, 0,795 ve 0,336'dır; özetteki SJ artışı ilk değerle desteklenmez. CMJ son-test tahmini gücü dinamik germede 2569,28±508,54 W, FR'de 2298,12±435,74 W'tır. Yazar dinamik germe lehine Bonferroni farkı bildirmiştir (p<0,05); kesin ikili p, serbestlik derecesi ve eşleştirilmiş güven aralığı yoktur. Başlangıç farkının nasıl ele alındığı açık değildir. Sonuçlar Sayers denkleminden tahmini watt değerleridir; doğrudan ölçülmüş güç veya santimetre olarak sunulmamıştır.

Meriçli ve Tutar'ın (2024) 13 kadın sporcuyu FR (n=7) ve aktivasyon (n=6) gruplarına ayırdığı paralel çalışmada FR dikey sıçrama değeri 59,33±5,87'den 56,99±4,64'e düşmüştür (p=0,091). Gruplar arası son-test p=0,086'dır. Cihaz ve birim açıklanmamış; ön-test zamanlaması özetle yöntemde çelişmiştir. Başlangıca göre düzeltilmiş etki verilmediği için düşüş doğrudan FR zararı olarak yorumlanmamıştır.

Eyuboglu ve arkadaşları (2026), 68 sporcuyu FR (n=24), perküsif masaj (n=25) ve dinamik germe (n=19) gruplarına ayırmıştır. FR CMJ 53,92±9,81'den 54,54±9,78 cm'ye değişmiş; ortalama değişim +0,62±2,12 cm ve grup içi p=0,252 bildirilmiştir. Dinamik germede değişim −0,60±0,95 cm'dir. Üç grubun değişim karşılaştırması p=0,158; son-test karşılaştırması p=0,750'dir. Özette ve tartışmada perküsif masaj lehine kullanılan üstünlük dili bu grup karşılaştırmalarıyla desteklenmez. Karma ANOVA'nın serbestlik dereceleri ve hata terimleri verilmediğinden grup içi testlerin değişim dağılımlarıyla ilişkisi tam denetlenememiştir. Ölçüm cihazı, deneme sayısı ve gerçek test gecikmesinin yetersiz açıklanması da yorumu sınırlar.

2.5. Tekrarlı oturum raporları

Popelka ve arkadaşları (2024), sekiz genç sporcuda her koşul için altı ölçümün ortalamasını vermiştir. Dinamik germe ve FR sonrasında SJ 38,2±5,3 ve 38,0±5,3 cm; CMJ 44,8±5,5 ve 44,7±5,3 cm'dir. Sabit koşul sırası, başlangıç sıçrama ölçümünün bulunmaması ve tekrarlı verinin bağımsız gruplara uygun serbestlik derecesiyle analiz edilmesi, akut nedensel yorumu sınırlar. Popelka ve Pivovarnicek (2022) iki sekiz kişilik grupta altı hafta boyunca blok ve smaç

sıçramalarını karşılaştırmış; anlamlı grup farkı bildirmemiştir. Yaklaşık 260–278 cm değerlerinin ayakta erişime göre düzeltilip düzeltilmediği açık değildir. Bu nedenle bu ölçüler CMJ yer değiştirmesiyle birleştirilmemiştir.

2.6. Yöntemsel sorunlar ve kanıtın yorumu

Birinci sorun, sorulan etki ile verilen istatistiğin farklı olmasıdır. Başlangıca göre artış, kontrolün aynı zaman içindeki değişimi dikkate alınmadan müdahale etkisini göstermez. Tekrarlı sıçrama testinin kendisi potansiyasyon, alışma veya yorgunluk üretebilir. Müdahale etkisi, öncelikle uygun koşullar arası karşılaştırma ve belirsizliğiyle değerlendirilmelidir.

İkinci sorun koşul sırası ve zamanlamadır. Sabit sıralı raporlarda FR her zaman sonraki oturumda yer alır; günlük hazır oluş ve öğrenme alternatif açıklamalardır. Randomize çapraz çalışmalarda da sıra üretimi, tahsis gizliliği ve dönem analizleri yeterince açıklanmamıştır. Test bataryası içinde sıçramanın farklı sırada yer alması, nominal 0. veya 5. dakika etiketini gerçek sıçrama zamanından ayırabilir.

Üçüncü sorun ölçüm ve raporlamadır. Yükseklik, tahmini güç, DJ reaktif özellikleri ve blok/smaç erişimi ortak bir sonuç değildir. Güngör'ün sayısal p değerleri ile anlatısı; Carreño'nun bildirilen büyük etki büyüklükleri ile ortalama ve standart sapmaları; Popelka'nın etki noktaları ile aynı güven aralıkları uyumsuzdur. Bu değerler sessizce düzeltilmemiş ve güvenilir standartlaştırılmış etki gibi kullanılmamıştır.

Bu sorunlar yalnızca istatistiksel anlamlılığı değil, saha kararını da etkiler. Elde edilen çalışmalar optimal FR süresini, bütün voleybolcular için en iyi bekleme aralığını veya maç performansındaki değişimi belirlemeye yetmemektedir. Küçük ve heterojen örneklemlerde anlamsız fark, yöntemlerin eşdeğerliğini kanıtlamaz. Güvenlik veya sakatlık önleme konusunda da bu sıçrama çalışmalarından sonuç çıkarılamaz.

2.7. Derlemenin sınırlılıkları

Beş bibliyografik kaynak taranmış olsa da PubMed ile Europe PMC kapsamı örtüşür; kaynak sayısı kapsayıcılığı tek başına göstermez. Kurumsal aboneliklerin tarih kapsamı ayrıca doğrulanmamıştır. SPORTDiscus'taki alan daraltması, voleybol terimi yalnız tam metinde geçen kayıtları kaçırabilir. Scopus'un yerel dosya dışa aktarımı yoktur; dokuz kaydın arayüz aktarımı korunmuştur. Ek web sonuçlarının sıralaması değişkendir; kapsamlı tez ve kayıt sistemi taraması yapılmamıştır. Bunlar kapsama ve tekrar üretilebilirlik sınırlarıdır.

Tam metni istenen 13 raporun tamamı elde edilmiş olsa da bu durum taramanın bütün literatürü yakaladığını kanıtlamaz. Veri çıkarımı ve alan incelemeleri bağımsız iki insan araştırmacı tarafından tamamlanmamıştır. Ön kayıt, tamamlanmış formal yanlılık/kanıt kesinliği değerlendirmesi ve yayın yanlılığı testi yoktur. Yapılandırılmış alan gerekçeleri denetim ekinde korunmuştur; bunlar doğrulanmış RoB 2 veya ROBINS-I sonuçları yerine geçmez. Bu sürüm araştırmacı doğrulaması bekleyen taslaktır. Birincil raporlardaki tutarsızlıklar için yazar açıklaması alınmamıştır.

3. SONUÇ

Erişilen tam metinler, voleybolcularda egzersiz öncesi FR'nin sıçrama performansını güvenilir biçimde artırdığını gösteren tutarlı karşılaştırmalı kanıt sunmamaktadır. Bazı koşullarda kısa süreli artışlar vardır; bunların büyüklüğü ve sürekliliği test türüne, karşılaştırıcıya ve tasarıma bağlıdır. Bulgular "FR kesinlikle etkilidir" veya "FR etkisizdir" şeklinde genellenmemelidir.

Bilimsel öncelik, yeterli örneklemli randomize araştırmalarda FR dozu ve test zamanının önceden belirlenmesidir. Eşit süreli aktif karşılaştırıcılar, çapraz tasarımda sıra dengelemesi, mümkün olduğunda koşullara kör değerlendirme ve bireysel eşleştirilmiş farkların raporlanması gereklidir. Bu derlemenin sonuçları insan araştırmacı doğrulaması ve formal yanlılık değerlendirmesi tamamlandıktan sonra yeniden gözden geçirilmelidir.

KAYNAKÇA

Acar, H. T., Erdaş, R. K., Uyan, A. S., Ercan, S., & Çetin, C. (2026). Acute effects of dynamic warm-up and foam roller applications on performance in adolescent male volleyball players. *Turkish Journal of Sports Medicine*, *61*(2), 77–87. https://doi.org/10.47447/tjsm.0945

Akçay, N., Kaplan, S., Tanrıöver, S., Pençek, D. E., Akgül, M. N., & Akgül, M. Ş. (2023). Acute effects of foam roller on performance in elite volleyball players. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *21*(3), 135–143. https://doi.org/10.33689/spormetre.1257402

Beyleroğlu, M., Demirtaş, B., & Çakır, O. (2021). Bölgesel lig kadın voleybolcularda ısınma protokolündeki dinamik germe egzersizlerine ek olarak yapılan foam roller egzersizlerinin countermovement jump ve squat jump performansına akut etkileri. *Egzersiz ve Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, *1*(1), 23–30. https://dergipark.org.tr/en/pub/joinesr/article/1151658

Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V., Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: Reporting guideline. *BMJ*, *368*, l6890. https://doi.org/10.1136/bmj.l6890

Carreño H., F., Quintrel S., M., & S-Mancilla, C. (2021). Efectos agudos de dos protocolos de calentamiento sobre altura y potencia del salto en voleibolistas. *Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte*, *66*(1), 65–71. https://doi.org/10.59856/arch.soc.chil.med.deporte.v66i1.15

Ergin, E. (2020). The acute effect of foam rolling on strength and flexibility in volleyball players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, *9*(8), 81–88. https://web.archive.org/web/20220123183030id_/http://ijaep.com/Journal/vol.9.8.pdf

Eyuboglu, F., Ayhan, Y., & Kolaylı Çerezci, T. (2026). Acute effects of fascial applications on performance and flexibility in adolescent volleyball athletes. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *47*, 406–411. https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2026.04.015

Güngör, A. K. (2024). Foam roller ve dinamik germe ısınma protokollerinin adolesan kadın voleybolcuların sıçrama ve eklem hareket açıklığına etkisi. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *22*(3), 101–109. https://doi.org/10.33689/spormetre.1443302

Higgins, J. P. T., Eldridge, S., & Li, T. (2024). Chapter 23: Including variants on randomized trials (last updated October 2019). In J. P. T. Higgins, J. Thomas, J. Chandler, M. Cumpston, T. Li, M. J. Page, & V. A. Welch (Eds.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (version 6.5). Cochrane. https://www.cochrane.org/authors/handbooks-and-manuals/handbook/current/chapter-23

Meriçli, S. İ., & Tutar, M. (2024). Voleybolcularda farklı ısınma protokollerinin patlayıcı kuvvet üzerine etkileri. *Sportif Bakış: Spor ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, *11*(1), 1–11. https://doi.org/10.33468/sbsebd.361

Mielniczek, M., & van den Tillaar, R. (2026). The effects of different warm-ups on volleyball performance. *Sports*, *14*(6), 218. https://doi.org/10.3390/sports14060218

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Popelka, J., & Pivovarnicek, P. (2022). The effect comparison of foam rolling and dynamic stretching on performance in motion tests by young volleyball players: A pilot study. *Physical Activity Review*, *10*(2), 140–149. https://doi.org/10.16926/par.2022.10.28

Popelka, J., Bujdos, G., & Pivovarnicek, P. (2024). Effects of different types of warm-ups on performance by young volleyball players. *Journal of Human Sport and Exercise*, *19*(3), 757–766. https://doi.org/10.55860/pv7whd26

Sağıroğlu, İ., Salı Ali, S., Ateş, O., & Kurt, C. (2017). Acute effect of self-myofascial release exercise volume to vertical jump performance and flexibility in well-trained women volleyball players. *International Refereed Academic Journal of Sports, Health and Medical Sciences*, (25), 74–85. https://doi.org/10.17363/SSTB.2017.4.5

Tsai, W.-C., & Chen, Z.-R. (2021). The acute effect of foam rolling and vibration foam rolling on drop jump performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(7), 3489. https://doi.org/10.3390/ijerph18073489

TARIMSAL ÜRETİMDE KULLANILAN DİJİTAL SİSTEMLERİN TAŞIDIĞI RİSKLER VE DEZAVANTAJLARI

Hazel GÖKDERE
Bingol University, Agriculture Faculty, Department of Field Crops, 12010 Merkez, Bingöl
ORCID ID:0009-0008-6633-5192
Prof. Dr. Erkan BOYDAK
Bingol University, Agriculture Faculty, Department of Field Crops, 12010 Merkez, Bingöl
ORCID ID: 0000-0002-3466-5356
Doç. Dr. Zeynep DUMANOĞLU
Bingol University, Agriculture Faculty, Department of Biosystem Engineering, 12010 Merkez, Bingöl
ORCID ID: 0000-0002-7889-9015

ÖZET
Akıllı tarım, tarımsal üretimde verimliliğin artırılması, kaynakların daha etkin kullanılması ve üretim süreçlerinin izlenebilmesi amacıyla bilgi ve iletişim teknolojilerinin, sensörlerin, nesnelerin internetinin (IoT), uzaktan algılama sistemlerinin, yapay zekâ ve veri analitiği uygulamalarının kullanılmasını ifade etmektedir. Bu teknolojiler; tarımsal uygulamalar, ürün takibi ve üretim planlaması gibi birçok alanda karar verme süreçlerini desteklemektedir. Tarımsal üretimde kullanılan dijital sistemler yalnızca teknik ve ekonomik avantajlar sağlamamakta, aynı zamanda çeşitli risk ve dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, akıllı tarımın genel yapısı ele alınarak, akıllı tarım uygulamalarının yüksek yatırım ve işletme maliyetleri, teknik bilgi ve eğitime duyulan gereksinim, insan faktörü ile altyapı ve internet erişim sorunları gibi temel dezavantajlar ele alınmıştır. Ayrıca, dijital sistemlerin yaygınlaşmasıyla daha fazla önem kazanan siber güvenlik, veri gizliliği ve veri sahipliği, çevresel ve sürdürülebilirlik ile sosyoekonomik riskler değerlendirilmiştir. Özellikle tarımsal verilerin dijital ortamlarda toplanması, depolanması ve paylaşılması; yetkisiz erişim, veri kaybı, veri üzerinde kontrolün üreticiden uzaklaşması veya kötüye kullanım gibi risklerle karşılaşılabilmektedir. Akıllı tarım teknolojilerinin sürdürülebilir ve güvenilir biçimde kullanılabilmesi için yalnızca teknolojik altyapının geliştirilmesi yeterli olmayıp; üreticilerin eğitilmesi, güçlü dijital ve fiziksel altyapının oluşturulması, veri güvenliği ve sahipliğine ilişkin düzenlemelerin geliştirilmesi ve sosyoekonomik farklılıkların dikkate alınması gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Tarımsal Üretim, Dijital tarım, Yapay zekâ

ABSTRACT RISKS AND DISADVANTAGES ASSOCIATED WITH DIGITAL SYSTEMS USED IN AGRICULTURAL PRODUCTION

ABSTRACT
Smart farming refers to the use of information and communication technologies, sensors, the Internet of Things (IoT), remote sensing systems, artificial intelligence and data analytics applications with the aim of increasing efficiency in agricultural production, utilizing resources more effectively and monitoring production processes. These technologies support decision-making processes in a wide range of areas, such as agricultural applications, product tracking and production planning. Digital systems used in agricultural production not only offer technical and economic benefits but also entail various risks and drawbacks. This study

examines the general structure of smart farming and addresses the key disadvantages of smart farming applications, such as high investment and operating costs, the need for technical knowledge and training, the human factor, and issues relating to infrastructure and internet access. In addition, cyber security, data privacy and data ownership which have gained greater importance with the widespread adoption of digital systems as well as environmental and sustainability issues and socio-economic risks have been assessed. In particular, the collection, storage and sharing of agricultural data in digital environments may give rise to risks such as unauthorized access, data loss, the loss of control over the data by the producer, or misuse. For smart farming technologies to be used in a sustainable and reliable manner, it is not enough simply to develop the technological infrastructure; it is also necessary to train producers, establish a robust digital and physical infrastructure, develop regulations concerning data security and ownership, and take socio-economic disparities into account.
Keywords: Agricultural Production, Digital Agriculture, Artificial Intelligence

1- GİRİŞ

Tarımda akıllı teknolojiler, otonom sistemlerin etkili bir şekilde kontrol edebilmesi, faydayı artırabilmesi, kaynak kullanımını kontrol edebilmesi ve ürünlerin piyasa gereksinimlerine uygun olmasını sağlarken karı maksimize edip üretim maliyetini en aza indirebilmesi sayesinde tarım ürünlerinin ve hayvancılığın üretimini arttırmaktadır (Tzounis vd. 2017). Akıllı tarım, iklim verilerinin toplanması, bitkilerin büyümesinin izlenmesi, bitki hastalıklarının erken teşhisi, etkili hasat sırasında ürün kaybı azaltılması, hayvancılığın davranışlarının izlenmesi, çiftlik içi ve dışındaki hayvanların konumlarının belirlenmesi ve hem bitkisel hem de hayvansal üretimin artırılması için IoT gibi teknolojilerin kullanımını ifade etmektedir (Idoje vd. 2021).

Son yıllarda çevresel ve iklimsel faktörlerin değişkenliği ile geleneksel tarım uygulamaları toprak aşınmasına, su kaynaklarının düzensiz kullanılması ve kirlenmesine ayrıca artan sera gazı emisyonların da artış görülmektedir (FAO, 2017, Idalfahım ve Elouardırhı, 2024). Yaşanan durumlara bağlı olarak hedeflenen tarımsal verim düzeyindeki dengesizlikler aynı zamanda gıda güvenliğini ve çiftçilerin ekonomik sürdürebilirliğini tehdit eden pek çok faktör bulunmaktadır (Cisse vd. 2025). Bu durum Dünya ve Türkiye üzerinde teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte günümüzde Tarım 4.0 (akıllı veya dijital tarım) ve Tarım 5.0 kavramları tarım sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Tarım 4.0 yaklaşımı; bilgisayar sistemleri, sensörler, mikroişlemciler, uydu teknolojileri, bulut bilişim ve bilgi-iletişim teknolojilerinin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesini ifade etmektedir (Ildırar ve Dallı, 2021). Tarım 5.0 ise bu altyapının ötesine geçerek yapay zekâ, makine öğrenmesi, robotik sistemler ve otonom teknolojilerin üretim süreçlerinde daha etkin kullanılmasını temel alan yeni bir tarımsal dönüşüm anlayışını temsil etmektedir (Yaman vd. 2021).

Bu bağlamda, Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri ile yapay zekânın (YZ) tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi; üretim faaliyetlerinin izlenmesi ve optimize edilmesi, kaynak kullanım etkinliğinin artırılması ve çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığın güçlendirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Balkrishna vd. 2023; Ojo vd. 2024).

Öte yandan AI, büyük miktarlarda heterojen veriyi analiz ederek karmaşık tarımsal ekosistemlerin modellenmesini ve karar verme araçlarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, yalnızca verimliliği değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği de kapsayan üretim sistemler yeniden tanımlamaktadır (Cisse vd. 2025).

Küresel tarım sektörü; iklim değişikliği, doğal kaynakların giderek azalması, iş gücü yetersizliği ve artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılayabilmek için daha yüksek verimlilik

düzeylerine duyulan ihtiyaç gibi çok boyutlu sorunlarla karşı karşıyadır (Elbasi vd. 2023; Ghobadpour vd. 2022). Manuel iş gücüne ve büyük ölçüde üretici deneyimine dayanan geleneksel tarım uygulamaları, kaynakların etkin kullanılmasını sınırlayabilmekte, verim düzeylerinde belirsizliklere yol açabilmekte ve tarımsal üretimi aşırı hava olayları ile diğer çevresel risklere karşı daha kırılgan hâle getirebilmektedir (Khakimov vd. 2022; Bai vd. 2023). Türkiye'de tarım sektörü, üretim ve verimliliği olumsuz etkileyen çeşitli yapısal ve ekonomik sorunlarla karşı karşıyadır. Bu sorunların başında tarımsal verilerin yeterli düzeyde toplanamaması ve paylaşılmasındaki eksiklikler, tarım arazilerinin küçük ve parçalı yapısı, artan girdi maliyetleri, sulama olanaklarının yetersizliği, çiftçilerin eğitim ve bilgi düzeylerindeki eksiklikler, yeni teknolojilerin ve yeniliklerin benimsenmesindeki gecikmeler ile tarımsal destekleme politikalarının istenilen düzeyde etkin olmaması gelmektedir (Aydın ve Unakıtan, 2016). Söz konusu sorunlar, Türkiye'de tarımsal üretimin ve verimliliğin istenilen seviyeye ulaşmasını güçleştirirken çiftçi gelirlerinin de istikrarsız olmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, üretim maliyetlerinin yüksekliği ve verimlilikte yaşanan sorunlar, Türkiye tarım sektörünün uluslararası pazarlardaki rekabet gücünü de sınırlandırmaktadır (Yılmazer ve Tunalıoğlu, 2024).

Bu çalışmada, tarım sektöründe giderek yaygınlaşan akıllı tarım teknolojilerinin faydalarının yanında göz ardı edemeyeceğimiz dezavantajları ve olası riskleri detaylı bir şekilde ortaya koymak amaçlanmıştır.

2- AKILLI TARIMIN GENEL YAPISI

Tarımsal gıda sistemlerinde dijital teknolojilerin tedarik zincirinin tüm aşamalarına entegre edilmesi, sektörde köklü bir dönüşümün önünü açmaktadır. Bu dönüşümü tanımlamak amacıyla literatürde "dijital tarım", "Tarım 4.0" ve "hassas tarım" gibi farklı kavramlar kullanılmaktadır. Günümüzde dijital tarım, teknolojik olanakların hızla geliştiği ve sürekli yenilendiği dinamik bir süreç içerisindedir. Sadece analog verilerin dijital ortama aktarılmasını sağlayan araçların kullanımından ziyade, çok sayıda dijital teknolojinin bir arada kullanılabilmektedir (Giua vd. 2022).

Otomasyon ve robotik teknolojilerindeki gelişmeler, tarımsal üretim süreçlerinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Ekim, hasat ve yabancı ot kontrolü gibi temel tarımsal faaliyetlerin, daha az iş gücü ihtiyacıyla ve daha yüksek verimlilikle çalışmasına olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ ve desteklenen robotik sistemler ise ürünlerin takibi, olgunluk düzeylerinin belirlenmesi ve hasadından etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Abd El Kareem Gomaa, 2022).

3. AKILLI TARIMIN DEZAVANTAJLARI

3.1. Yüksek yatırım ve işletme maliyetleri

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, özellikle büyük ölçekli tarımsal işletmeler tarafından dijital tarım teknolojileri daha yoğun olarak kullanılmaktadır (Finger vd. 2019). Buna karşılık, zaman zaman teknolojiye erişimde yaşanan güçlükler, teknik ve beşerî kapasite eksiklikleri ile yüksek yatırım maliyetleri, bu uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır (Onyango vd. 2021). Ayrıca çiftçilerin yaş grafiğinin yüksek olması, genç çiftçilerin tarımsal üretime daha az katılmaları, kurulum maliyeti, mevcut finansal desteklerin yeterli olmaması, tarımsal işletmelerdeki farklılıklar, sosyal ekonomik faktörler vb. dijital tarım uygulamalarının belirlenmesinde, kullanılmasında ve yaygınlaşmasında rol almaktadır (Blasch vd. 2022).

Dijital tarım sistemleri; her ne kadar üretim süreçlerine ilişkin gerçek zamanlı, yüksek hacimli ve karar vermeyi destekleyici nitelikte bilgiler ve veriler sağlayarak girdi kullanımının optimize etmesi ve kaynak israfının azaltılması açısından önemli fırsatlar sağlasa da üreticilerin kaldıramayacağı maliyetler söz konusudur. Özellikle değişken oranlı uygulama teknolojileri,

girdilerin ihtiyaç duyulan miktarda ve doğru zamanda kullanılmasına olanak sağlayarak hem ekonomik hem de potansiyel çevresel faydalar yaratmaktadır. Bununla birlikte, mevcut hassas tarım sistemlerinin önemli bir bölümünün küçük ölçekli işletmeler açısından maliyet etkin olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, söz konusu teknolojilerin küçük üreticiler tarafından ekonomik olarak uygulanabilir hâle getirilebilmesi için daha düşük maliyetli, erişilebilir ve işletme koşullarına uyarlanabilir sistemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca, küçük ölçekli işletmelerin üretim yapısı, kaynakları ve karşı karşıya oldukları koşullar bakımından oldukça heterojen olması, tek tip teknoloji ve uygulamalar yerine duruma ve işletmeye özgü yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Mizik, 2021).

3.2. Teknik bilgi ve eğitim gereksinimi

Ingram ve Gaskell (2019) yaptıkları çalışmada, dijital bilgi sistemlerinin organizasyonu ve dijital ortak tasarım süreçlerini ele alarak, arama motorlarında bilgiye erişilebilirlik ve bilginin kullanılabilirliği açısından dil ve ontolojilerin önemine dikkat çekmektedir. Belirli tarımsal alanlara ilişkin ortak anlamların temsil edilmesini ve paylaşılmasını sağlayan daha gelişmiş bir sisteme kurulabileceğine vurgu yapmaktadır. Bununla birlikte, paydaşlar arasındaki anlamlandırma ve yorum farklılıklarının tamamen ortadan kaldırılmasının mümkün olmadığı belirtilmektedir. Bu farklılıkların, kullanıcılarla gerçekleştirilecek çoklu yinelemeli tasarım süreçleri aracılığıyla kapasitenin geliştirilmesi ve bilginin yönetilmesiyle azaltılabileceği ileri sürülmektedir.

Türkiye'de akıllı tarımın benimsenmesi için, çiftçilerin yeni teknolojilere uyum sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, eğitim faaliyetleri oldukça önemlidir. Tarım kooperatifleri ve birlikleri, çiftçilere bu teknolojilerin kullanımı hakkında bilinçlendirme çalışmaları yaparak yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra, devlet destekli eğitim projeleri, çiftçilerin bu yenilikçi uygulamaları daha hızlı bir şekilde kabul etmelerini sağlamaktadır. Ancak yeterli miktarda üreticiye ulaşılamamaktadır. Bu nedenle teknik bilgi ve eğitim eksikliği söz konusudur. Tarım sektöründe dijitalleşmeye yönelik atılacak her adım, verimliliği artıracak ve üreticilerin uluslararası rekabette daha güçlü bir konuma gelmelerine yardımcı olmaktadır (Farmonaut, 2024).

Geleneksel olarak bilgi toplama ve saha denemelerinin yürütülmesine dayanan bazı danışmanlık faaliyetleri, giderek uzaktan veri toplama, hesaplama, analiz ve yorumlama süreçlerine doğru kaymaktadır. Bununla birlikte, Ayre vd. (2019), dijital teknolojilerin sunduğu yeni olanaklara rağmen, değişen danışmanlık rollerinin oluşturulmasının ve mevcut danışmanların bu rollere uyum sağlamasının kolay bir süreç olmadığını vurgulamaktadır. Dolayısıyla dijitalleşme, tarımsal danışmanlık hizmetlerinde yalnızca yeni teknolojilerin kullanımını değil, aynı zamanda danışmanların görev, yetkinlik ve rollerinin yeniden tanımlanmasını gerektiren daha kapsamlı bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmektedir. Bunun yanında Türkiye de danışmanlara ulaşmak ve uygulama vb. tam anlamıyla hız kazanamamıştır.

3.3. İnsan Faktörü

Teknoloji benimseme süreci yalnızca ekonomik kaynaklarla açıklanabilecek bir süreç değildir. Eğitim, bilgiye erişim ve bilgi paylaşımı, çiftçilerin yeni teknolojileri anlamaları, teknolojilerin sağlayabileceği faydaları değerlendirmeleri ve bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanabilmeleri açısından önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, çiftçilerin teknik bilgi ve becerilerinin geliştirilmesi ile tarımsal yayım ve eğitim faaliyetlerinin güçlendirilmesi, hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasını destekleyen temel unsurlar arasında değerlendirilmektedir (Yarashynskaya ve Prus, 2022). Özellikle büyük ölçekli tarım işletmelerinin, küçük işletmelere kıyasla daha yüksek gelir elde etmeleri ve finansal kaynaklara

ve sermayeye daha kolay erişebilmeleri nedeniyle hassas tarım teknolojilerini benimseme olasılıklarının daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Barnes vd. 2019). Bunun yanı sıra, çiftçinin yaşı ve eğitim düzeyi de teknoloji benimseme sürecinde önemli belirleyiciler arasında yer almaktadır. Daha genç ve eğitim düzeyi daha yüksek çiftçilerin yeni teknolojilere karşı daha olumlu bir tutum sergiledikleri, yeniliklere daha açık oldukları ve risk alma konusunda daha istekli oldukları görülmektedir. Bu durum, genç çiftçilerin hassas tarım teknolojilerini ve dijital uygulamaları daha erken benimsemelerine ve daha sık kullanmalarına katkı sağlamaktadır (Kroupová vd. 2024).

Tarım üreticilerinin hassas tarım teknolojilerini ve dijitalleşme uygulamalarını benimseme düzeyleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların ortaya çıkmasında, işletmelerin yeni teknolojileri tanıma, değerlendirme, özümseme ve uygulama kapasitesi önemli bir rol oynamaktadır. Mevcut araştırmalar, söz konusu kapasitenin başta işletme büyüklüğü, çiftçinin yaşı ve eğitim düzeyi, gelir ve finansal kaynaklara erişim ile bilgiye erişim gibi faktörlerden etkilendiğini göstermektedir (Kroupová vd. 2024).

3.4. Alt yapı ve internet erişim sorunları

Kırsal bölgelerdeki dijital altyapının yetersizliği, internet ve ağ bağlantısındaki sorunlar ile üreticilerin dijital okuryazarlık düzeylerinin sınırlı olması, bu teknolojilerin yaygın biçimde benimsenmesini güçleştiren diğer önemli faktörlerdir (Karunathilake vd. 2023). Dolayısıyla, akıllı tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılması açısından yalnızca teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi yeterli olmayıp, aynı zamanda üreticilerin bu teknolojilere ekonomik ve teknik açıdan erişimini kolaylaştıracak altyapı ve kapasite geliştirme mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir (Miller vd. 2025).

IoT, yapay zekâ, sensör teknolojileri, robotik sistemler ve veri analitiğindeki gelişmeler doğrultusunda dünya genelinde hükümetler, araştırma kuruluşları ve tarım işletmeleri tarımsal üretimin modernizasyonuna yönelik önemli yatırımlar gerçekleştirmektedir (Avasthi vd.2025). Bununla birlikte, söz konusu teknolojilerin dönüştürücü potansiyeline rağmen, bunların tarımsal üretime etkin biçimde entegre edilmesi çeşitli teknik, ekonomik ve altyapısal sorunları beraberinde getirmektedir. Özellikle çevresel koşulların daha değişken ve kontrol edilmesinin güç olduğu geniş alanlı tarla bitkileri üretimi ve büyük ölçekli mera yönetimi gibi sistemlerde, akıllı tarım teknolojilerinin uygulanması önemli güçlükler içermektedir (Velasquez vd. 2020). Bu nedenle, akıllı tarıma geçiş yalnızca yeni teknolojilerin geliştirilmesine değil, aynı zamanda bu teknolojilerin farklı üretim sistemlerine uyarlanabilirliğine ve üreticiler tarafından erişilebilir olmasına bağlıdır (Miller vd. 2025).

Geleneksel tarımdan akıllı tarım uygulamalarına geçişin önündeki temel engellerden biri teknolojilerin yüksek maliyeti ve erişilebilirliğidir (Sharma vd. 2022). Büyük ölçekli ticari işletmeler IoT tabanlı hassas tarım teknolojilerini giderek daha fazla benimserken, küçük ölçekli üreticiler sensörler, veri depolama altyapısı ve yapay zekâ destekli analitik platformlarının yüksek yatırım ve işletme maliyetleriyle karşı karşıya kalmaktadır (Zerssa vd. 2021; Azadi vd. 2021). Bu durum, dijital eşitsizliklerin mekân ve sosyokültürel boyutlarını gözler önüne sermektedir; geniş bant internet erişimi, bölgesel dijital uçurumlar ve savunmasız grupların koşulları bu bağlamda incelenmektedir (Ay ve Kılıç, 2023). Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'na göre, Türkiye'de hanelerin yaklaşık %95,5'inde internet bulunmasına rağmen, kırsal alanlarda bu oran önemli ölçüde azalmaktadır (TÜİK, 2023). Özellikle fiber altyapının ulaşmadığı kırsal bölgelerde mobil ağlar üzerinden sınırlı bağlantı sağlanmaktadır. Örneğin, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'daki pek çok köyde hâlâ sabit internet altyapısı mevcut değildir (Söztutar, 2022).

Diğer yandan, kırsal alanlardaki kadınlar ve gençler, dijitalleşme sürecinin hem öncüsü hem de

en dezavantajlı grupları konumundadır. Genç çiftçiler, teknolojiyi hızla benimseme eğiliminde olmalarına rağmen, mülkiyet, finansman ve tarımsal karar alma süreçlerinde sisteme güvenmemektedir. Kadın çiftçilerin durumu ise biraz daha karışıktır. Türkiye'deki kadınların büyük kısmı tarımda kayıt dışı çalışan konumda ve resmi kayıt sistemlerinde genel olarak yer almamaktadır (Gürsoy ve Çolak, 2023). Dijitalleşme alanında eğitim, teknolojiye ulaşım ve bilgiye erişimdeki ciddi iyileştirmeler sayesinde kadınlar, özellikle "Tarım Cebimde" gibi mobil uygulama sistemlerinin sunduğu kolaylaşmalar ve ilgili kurumların kadınlara destekleri sayesinde, 2015-2024 yılları arasında kadın çiftçi sayısında 4,5 kat artış gözlemlenmektedir (Anadolu Ajansı, 2024).

4. AKILLI TARIMIN RİSKLERİ

4.1. Siber güvenlik riskleri

IoT tabanlı tarımın yaygınlaştırılmasındaki en önemli zorluklardan biri fiziksel altyapının oluşturulmasından ziyade güvenlik ve gizliliğin etkin bir şekilde sağlanmasıdır. IoT cihazlarının ve ağlarının tarımsal uygulamalarda yaygın biçimde kullanılması, izinsiz sisteme yönelik giriş ve çıkışlar olabilmektedir. Özellikle yanlış veri eklenmesi veya değiştirilmesi gibi saldırılar, tarımsal süreçlerde kullanılan verilerin güvenilirliğini ve karar mekanizmalarının doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir (Ferrag vd. 2020).

Bu konuda yapılan çalışmalar, IoT uygulamalarında gizliliği artırmaya yönelik teknolojileri yedi temel kategori altında sınıflandırmıştır: uygulama, veri kontrolü, kişisel veri koruma, anonimleştirme, kısmi veri ifşası, anonim yetkilendirme ve bütüncül gizlilik koruması şeklindedir (Cha vd. 2018). Bu başlıklarda uygun güvenlik protokollerinin sağlanamaması güvenlik ve üretici hakkında risk oluşturmaktadır. Bunun önlenebilmesi için ücretli siber güvenlik desteğinin alınması zorunlu hale gelmektedir. Bu da üreticiler için mali yük anlamına gelmektedir (Ferrag vd. 2020).

4.2. Veri gizliliği ve veri sahipliği

Genel olarak IoT güvenliği alanında farklı tehdit, güvenlik ve gizlilik sorunlarını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar; tehdit modeli, güvenlik ve gizlilik, blok zinciri kullanımı ve hedef IoT uygulaması olmak üzere dört temel ölçüt üzerinden sınıflandırılmıştır. Tehdit modeli, çalışmanın IoT ağına yönelik potansiyel tehditleri dikkate alıp almadığını; güvenlik ve gizlilik kriteri, IoT ağının korunmasına yönelik güvenlik ve gizlilik mekanizmalarına odaklanılıp odaklanılmadığını; blok zinciri kriteri, IoT güvenliği için blok zinciri tabanlı çözümlerin kullanılıp kullanılmadığını; hedef IoT uygulaması kriteri ise çalışmanın belirli bir IoT uygulamasına mı yoksa genel IoT sistemlerine mi odaklandığını ifade etmektedir (Ferrag vd. 2020).

Bazı çalışmalar, ele aldıkları karşı önlemleri IoT güvenlik taksonomileri (Alaba vd. 2017), IoT güvenlik çerçeveleri (Lin vd. 2017), (Ammar vd. 2018), güvenli iletişim protokolleri (Nguyen vd. 2015) veya güven temelli çözümler (Altaf vd. 2019) ile sınırlandırmaktadır. Bunun yanı sıra, IoT ağlarının güvenliğini tehdit edebilecek çeşitli saldırı ve tehdit modelleri ne dair araştırmalar yapılmaktadır (Baig vd. 2017). Son yıllarda ise IoT güvenliğinin sağlanmasında blok zinciri tabanlı çözümlere yönelik ilginin önemli ölçüde arttığı görülmektedir (Panarello vd. 2018).

4.3 Çevresel ve sürdürülebilirlik riskler

Tarım sektöründe IoT cihazlarının yaygınlaşması, enerji tüketimi ve elektronik atık (e-atık) oluşumu açısından önemli çevresel ve sürdürülebilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Akıllı sensörler, kablosuz iletişim ağları ve yapay zekâ tabanlı hesaplama birimleri, özellikle şebeke altyapısının bulunmadığı veya yetersiz olduğu kırsal tarım bölgelerinde sürekli enerji gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, söz konusu sistemlerin uzun süreli ve kesintisiz

bir şekilde işletilmesini zorlaştırmaktadır (Quazi vd. 2022). Özellikle pille çalışan IoT cihazlarının belirli aralıklarla değiştirilmesi veya yeniden şarj edilmesi gerekmekte; bu süreç hem işletme ve bakım maliyetlerini artırmakta hem de zaman içerisinde önemli miktarda e-atık oluşmasına neden olmaktadır. Bu sorunların giderilmesine yönelik olarak güneş enerjisiyle çalışan IoT çözümleri geliştirilmiş olsa da, güneş ışınımının yetersiz veya değişken olduğu bölgelerde bu sistemlerin verimliliği azalabilmekte ve kurulum maliyetleri yüksek olabilmektedir (Yin vd. 2021). Bu bağlamda, akıllı tarım sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için enerji verimliliğinin sistem tasarımının temel unsurlarından biri olarak ele alınması gerekmektedir. Düşük güç tüketimli yapay zekâ modellerinin geliştirilmesi, enerji verimli sensör ağlarının kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin yararlanılması, IoT tabanlı tarım sistemlerinin enerji gereksinimini azaltabilecek önemli yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu sistemlerde kullanılan malzemeler biyolojik olarak doğada kalıntı bırakmadan parçalanabilir, dönüştürülebilir çevre dostu malzemeler sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır (Majumdar vd. 2025).

Sürdürülebilirlik açısından bir diğer önemli sorun ise tarım alanlarında konuşlandırılan IoT sensör ağlarının uzun vadeli dayanıklılığı ve kullanılabilirliğidir. Bitkisel ve hayvansal tarım yapılan araziler, aşırı sıcaklık değişimleri, yoğun yağış, yüksek nem, toprak korozyonu ve diğer zorlu çevresel koşullarından dolayı IoT cihazları için elverişsiz çalışma ortamları meydana geldiğinden IoT cihazları gibi hassas dijital cihazların uzun vadeli dayanıklılığı ve kullanabilirliği risk altındadır. Mevcut koşullar, zaman içerisinde sensörlerin performansının azalmasına, ölçüm doğruluğunun bozulmasına ve cihazların sıklıkla arızalanmasına yol açabilmektedir (Ayaz vd. 2019; Kaur ve Sehgal, 2024). Hasar gören veya işlevini kaybeden sensörlerin ya da cihazların değiştirilmesi bakımı ve işletme kullanımı maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca bu durum elektronik atık miktarının artmasına ve dolayısıyla çevresel kirliliğine neden olmaktadır.

4.4. Sosyoekonomik riskler

Akıllı tarım ve teknolojilerinin kullanamamasının mali durumdan dolayı satın alamaması çok daha yaygın olmaktadır. Teknolojilerinin yaygınlaştırılmasını desteklemek amacıyla hükümetler ve çeşitli tarım kuruluşları tarafından sübvansiyon programları, finansal teşvikler ve açık kaynaklı yapay zekâ modelleri gibi farklı destek mekanizmaları geliştirilmektedir. Bununla birlikte, yeterli finansal teşviklerin bulunmaması, uygun maliyetli kredi olanaklarına erişimin sınırlı olması ve teknolojik yatırımlar için gerekli başlangıç sermayesinin yetersizliği, özellikle kaynakları kısıtlı çiftçiler arasında akıllı tarım teknolojilerinin yaygın biçimde benimsenmesini sınırlandırmaktadır (Ansari vd. 2024). Özellikle geleneksel üretim yöntemlerine alışkın olan bazı çiftçiler, otomatik karar verme ve yapay zekâ tabanlı sistemlerin üretim süreçlerine entegre edilmesi konusunda temkinli davranabilmektedir. Bu tereddüdün temelinde teknolojilerin karmaşıklığı, kullanım konusunda yeterli teknik bilgi ve eğitimin bulunmaması, sistemlerin güvenilirliğine ilişkin belirsizlikler ve elde edilecek faydanın başlangıç yatırım maliyetlerini karşılayacağına yönelik endişeler beraberinde getirmektedir. Bu nedenle dijital tarım satın olsalar dahi bilinçsizlik ve panik nedeniyle bu sistemlerden tam faydalanamamaktadır (Miller vd. 2025).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akıllı tarım uygulamaları, tarımsal üretimde verimlilik, kaynak kullanım etkinliği, üretim süreçlerinin izlenmesi ve karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin tarımsal üretime uygulanması, beraberinde ekonomik, teknik, altyapısal, insan kaynaklı ve dijital güvenlik açısından çeşitli dezavantaj ve risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle akıllı tarımın değerlendirilmesinde

yalnızca sağladığı teknolojik ve ekonomik kazanımların değil, üretim sistemlerinde oluşturabileceği risklerin de bütün olarak ele alınması gerekmektedir.

Akıllı tarımın en önemli dezavantajlarından biri yüksek yatırım ve işletme maliyetleridir. Sensörler, otomasyon sistemleri, tarım makineleri, yazılım ve veri altyapıları için gerekli yatırımlar özellikle küçük ve orta ölçekli üreticiler açısından önemli bir mali yük oluşturabilmektedir. Bunun yanında, teknolojilerin etkin kullanılabilmesi için üreticilerin ve tarım çalışanlarının teknik bilgi ve eğitim düzeylerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Dijital sistemlerin kullanımının artmasıyla birlikte siber güvenlik ve veri yönetimi de tarımsal üretimin önemli risk alanları hâline gelmektedir. Üretim miktarı, arazi özellikleri, ürün verileri, makine bilgileri ve ekonomik faaliyetlere ilişkin verilerin dijital ortamlarda tutulması; yetkisiz erişim, veri hırsızlığı, veri kaybı ve sistemlerin kötüye kullanılması gibi tehditleri beraberinde getirebilmektedir. Bununla birlikte tarımsal verilerin kime ait olduğu, kim tarafından kullanılabileceği, hangi amaçlarla paylaşılabileceği ve üreticinin verileri üzerindeki kontrolünün nasıl korunacağı gibi veri gizliliği ve veri sahipliği konularının açık biçimde düzenlenmesi önem taşımaktadır.

Akıllı tarım teknolojilerinin çevresel etkileri de dikkate alınmalıdır. Teknolojilerin doğru kullanılması su, gübre, enerji ve tarımsal girdilerin daha etkin kullanılmasına katkı sağlayabilse de elektronik cihazların kullanım ömrü sonunda oluşturduğu elektronik atıklar, enerji tüketimi ve teknolojik ekipmanların üretim süreçlerinin çevresel etkileri sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmelidir.

Akıllı tarımın sürdürülebilir bir üretim modeli olarak geliştirilebilmesi için teknoloji odaklı yaklaşımın yanında ekonomik, sosyal, çevresel ve hukuki boyutları kapsayan bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir. Üreticilerin teknolojiye erişimini kolaylaştıracak destek mekanizmalarının oluşturulması, teknik eğitim ve danışmanlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması, kırsal dijital altyapının güçlendirilmesi ve siber güvenlik önlemlerinin artırılması önem taşımaktadır. Aynı zamanda tarımsal verilerin gizliliği, güvenliği ve sahipliğine ilişkin açık kuralların oluşturulması ve teknolojik dönüşümün çevresel etkilerinin izlenmesi gerekmektedir. Üreticilerin akıllı tarım teknolojilerini etkin biçimde kullanabilmeleri için teknik eğitim ve danışmanlık hizmetlerinin artırılması gerekmektedir.

- Kırsal bölgelerde internet erişimi ve dijital altyapının geliştirilmesi de öncelikli konular arasında yer almalıdır.
- Akıllı tarım sistemlerinde kullanılan verilerin güvenliğinin sağlanması amacıyla güçlü siber güvenlik önlemlerinin uygulanması gerekmektedir.
- Üreticilerin siber güvenlik konusunda bilinçlendirilmesi ve olası tehditlere karşı temel güvenlik uygulamalarını öğrenmeleri sağlanmalıdır.
- Akıllı tarım teknolojilerinin çevresel etkileri de uygulama sürecinde dikkate alınmalıdır.
- Akıllı tarımın yaygınlaşmasının kırsal kesimdeki sosyoekonomik farklılıkları artırmaması için teknolojiye erişimde fırsat eşitliği sağlanmalıdır.

Genel olarak, akıllı tarımın gelecekteki gelişiminde teknolojik yeniliklerin yanı sıra ekonomik erişilebilirlik, eğitim, altyapı, veri güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal eşitlik unsurlarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu alanlarda gerçekleştirilecek çalışmalar ve oluşturulacak politikalar, dijital tarım sistemlerinin daha güvenli, erişilebilir ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abd El Kareem Gomaa, H. (2022). Modern Trends in the Development of Smart Agriculture Projects. International Journal of Modern Agriculture and Environment, 2(1), 33-44.

Alaba, F. A, Othman, M, Hashem, I. A. T, Alotaibi, F. (2017). Internet of Things security: A survey. Journal of network and computer applications, 88, 10-28.

Altaf, A, Abbas, H, Iqbal, F, Derhab, A. (2019). Trust models of internet of smart things: A survey, open issues, and future directions. Journal of Network and Computer Applications, 137, 93-111.

Ammar, M, Russello, G, Crispo, B. (2018). Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks. Journal of information security and Applications, 38, 8-27.

Anadolu Ajansı, (2024), Kayıtlı genç kadın çiftçi sayısı, https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kayitli-genc-kadin-ciftci-sayisi-10-yilda-4-5-katinacikti/3222181, Erişim Tarihi: 02.08.2026

Ansari, M. N, Gupta, S, Kumar, D, Hussain, B. (2024). Adoption challenges and incentives for IoT and AI in agriculture. In Agriculture 4.0, 355-372.

Avasthi, S, Chauhan, R, Tripathi, S. L. (2025). Artificial intelligence-powered agriculture and sustainable practices in developing countries. In Hyperautomation in Precision Agriculture, 49-62. Academic Press.

Ay, S, Kılıç, T. (2023). Coğrafi dijital uçurum: Türkiye'de dijital dönüşümün kentsel-kırsal, bölgesel ve cinsiyet eşitsizlikleri. Journal of Geography, (46), 111-122.

Ayaz, M, Ammad-Uddin, M, Sharif, Z, Mansour, A, Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. IEEE access, 7, 129551-129583.

Aydın, B, Unakıtan, G. (2016). Trakya bölgesinde faaliyet gösteren tarım işletmelerinin yapısal özellikleri ve tarımsal uygulamalara yaklaşımları. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 2(2), 11-25.

Ayre, M, Mc Collum, V, Waters, W, Samson, P, Curro, A, Nettle, R, Paschen, J.A, King, B, Reichelt, N. (2019). Supporting and practising digital innovation with advisers in smart farming. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 90(1), 1-12.

Azadi, H, Moghaddam, S. M, Burkart, S, Mahmoudi, H, Van Passel, S, Kurban, A, Lopez-Carr, D. (2021). Rethinking resilient agriculture: From climate-smart agriculture to vulnerable-smart agriculture. Journal of Cleaner Production, 319, 128602.

Bai, X, Ye, W, Zhou, Y, Ruan, X, Wang, J, Li, W, Zhang, P. (2023). Comparison between diffusive gradients in thin film technology (DGT) and traditional methods for prediction of plant available heavy metals in agricultural soil. Journal of Soils and Sediments, 23(3), 1501-1510.

Baig, Z. A, Szewczyk, P, Valli, C, Rabadia, P, Hannay, P, Chernyshev, M, Johstone, M, Karei, P, Ibrahım, A, Sansurouah, K, Syed, N, Peacock, M, Peacock, M. (2017). Future challenges for smart cities: Cyber-security and digital forensics. Digital Investigation, 22, 3-13.

Balkrishna, A, Pathak, R, Kumar, S, Arya, V, Singh, S. K. (2023). A comprehensive analysis of the advances in Indian Digital Agricultural architecture. Smart Agricultural Technology, 5, 100318.

Barnes, A. P, Soto, I, Eory, V, Beck, B, Balafoutis, A, Sánchez, B, Vangeyte, J, Fountas, S, van der Wal, T, Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. Land use policy, 80, 163-174.

Blasch, J, van der Kroon, B, van Beukering, P, Munster, R, Fabiani, S, Nino, P, Vanino, S. (2022). Farmer preferences for adopting precision farming technologies: a case study from Italy. European Review of Agricultural Economics, 49(1), 33-81.

Cha, S. C, Hsu, T. Y, Xiang, Y, Yeh, K. H. (2018). Privacy enhancing technologies in the Internet of Things: Perspectives and challenges. IEEE Internet of Things Journal, 6(2), 2159-2187.

Cisse, A, Diallo, O, Ndoye, E. H. M, Sene, O. (2025). Review of smart agriculture for resource-limited areas highlighting limits, opportunities and key-challenges for sustainable IoT and AI-based solutions. Discover Computing, 28(1), 324.

Elbasi, E, Mostafa, N, AlArnaout, Z, Zreikat, A. I, Cina, E, Varghese, G, Shdefat, A, Topcu, A, Abdelbaki, W, Mathew, S, Zaki, C. (2022). Artificial intelligence technology in the agricultural sector: A systematic literature review. IEEE access, 11, 171-202.

Farmonaut, (2024), Akıllı Tarım Teknolojileri: Türkiye'de Verimlilik ve Sürdürülebilirlik İçin Dijital Çözümler. Farmonaut. https://farmonaut.com/precision-farming/akilli-tarim-teknolojileriturkiyede-verimlilik-ve-surdurulebilirlik-icin-dijital-cozumler/, Erişim Tarihi: 18.08.2026.

Ferrag, M. A, Maglaras, L. A, Janicke, H, Jiang, J, Shu, L. (2017). Authentication protocols for internet of things: a comprehensive survey. Security and Communication Networks, 2017(1), 6562953.

Finger, R, Swinton, S. M, El Benni, N, Walter, A. (2019). Precision farming at the nexus of agricultural production

and the environment. Annual Review of Resource Economics, 11(1), 313-335.
Food, F. A. O. (2017). Agriculture organization of the united nations (FAO). Via delle Terme di Caracalla, 100.
Ghobadpour, A, Monsalve, G, Cardenas, A, Mousazadeh, H. (2022). Off-road electric vehicles and autonomous robots in agricultural sector: trends, challenges, and opportunities. Vehicles, 4(3), 843-864.
Giua, C, Materia, V. C, Camanzi, L. (2022). Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition?. Technology in Society, 68, 101869.
Gürsoy, Ö. B, Çolak, E. (2023). Akıllı tarım literatürünün toplumsal cinsiyet perspektifinden Türkiye bağlamında değerlendirilmesi. Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(1), 185-203.
Idalfahım, M, Elouardırhı, S. (2024). Les effets des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de dioxyde de carbone dans les pays africains: Une évidence empirique. International Journal of Accounting Finance Auditing Management and Economics, 5(7), 494-507.
Idoje, G, Dagiuklas, T, Iqbal, M. (2021). Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. Computers & Electrical Engineering, 92, 107104.
Ildırar, M, Dallı, T. (2021). Dünyada ve Türkiye'de Tarım 4.0 uygulamaları. IV. Uluslararası Kahramanmaraş Yönetim, Ekonomi ve Siyaset Kongresi, Bildiriler Kitabı, 23-24.
Ingram, J, Gaskell, P. (2019). Searching for meaning: Co-constructing ontologies with stakeholders for smarter search engines in agriculture. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 90(1), 1-13.
Karunathilake, E. M. B. M, Le, A. T, Heo, S, Chung, Y. S, Mansoor, S. (2023). The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. Agriculture, 13(8), 1593.
Kaur, U, Sehgal, S. (2024). An in-depth analysis of the potential of AIoT to improve agricultural productivity and long-term sustainability. In Explainable AI (XAI) for sustainable development, 256-270.
Khakimov, A, Salakhutdinov, I, Omolikov, A, Utaganov, S. (2022). Traditional and current-prospective methods of agricultural plant diseases detection: A review. In IOP Conference series: earth and environmental science, 951 (1), 012002.
Kroupová, Z. Ž, Aulová, R, Rumánková, L, Bajan, B, Čechura, L, Šimek, P, Jarolímek, J. (2025). Drivers and barriers to precision agriculture technology and digitalisation adoption: Meta-analysis of decision choice models. Precision Agriculture, 26(1), 17.
Lin, J, Yu, W, Zhang, N, Yang, X, Zhang, H, Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. IEEE internet of things journal, 4(5), 1125-1142.
Majumdar, P, Mitra, S, Bhattacharya, D, Bhushan, B. (2025). Enhancing sustainable 5G powered agriculture 4.0: Summary of low power connectivity, internet of UAV things, AI solutions and research trends. Multimedia tools and applications, 84(17), 17389-17433.
Miller, T, Mikiciuk, G, Durlik, I, Mikiciuk, M, Łobodzińska, A, Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in agriculture: The time is now—A systematic review of smart sensing technologies. Sensors, 25(12), 3583.
Mizik, T. (2021). Climate-smart agriculture on small-scale farms: A systematic literature review. Agronomy, 11(6), 1096.
Nguyen, K. T, Laurent, M, Oualha, N. (2015). Survey on secure communication protocols for the Internet of Things. Ad Hoc Networks, 32, 17-31.
Ojo, M. O, Viola, I, Miretti, S, Martignani, E, Giordano, S, Baratta, M. (2024). A deep learning approach for accurate path loss prediction in lorawan livestock monitoring. Sensors, 24(10), 2991.
Onyango, C. M, Nyaga, J. M, Wetterlind, J, Söderström, M, Piikki, K. (2021). Precision agriculture for resource use efficiency in smallholder farming systems in sub-saharan africa: A systematic review. Sustainability, 13(3), 1158.
Panarello, A, Tapas, N, Merlino, G, Longo, F, Puliafito, A. (2018). Blockchain and iot integration: A systematic survey. sensors, 18(8), 2575.
Qazi, S, Khawaja, B. A, Farooq, Q. U. (2022). IoT-equipped and AI-enabled next generation smart agriculture: A critical review, current challenges and future trends. Ieee Access, 10, 21219-21235.
Sharma, V, Tripathi, A. K, Mittal, H. (2022). Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. Computers and electronics in agriculture, 201, 107217.
Söztutar, M. (2022). Ağ toplumu yaklaşımının kırsal alanların dönüşümü üzerine etkileri. Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20, 59-76.
TÜİK, (2023), Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması, 2023, https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT) KullanimArastirmasi-2023 Erişim Tarihi: 01.06.2025
Tzounis, A, Katsoulas, N, Bartzanas, T, Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosystems engineering, 164, 31-48.

Velásquez, D, Sánchez, A, Sarmiento, S, Toro, M, Maiza, M, Sierra, B. (2020). A method for detecting coffee leaf rust through wireless sensor networks, remote sensing, and deep learning: Case study of the Caturra variety in Colombia. Applied Sciences, 10(2), 697.
Yaman, H, Sungur, O, Dulupçu, M. A. (2021). Dünyada tarım ve hayvancılığın dönüşümü: Teknolojiye dayalı uygulamalar ve devrimler. Tarım Ekonomisi Dergisi, 27(2), 123-133.
Yarashynskaya, A, Prus, P. (2022). Precision agriculture implementation factors and adoption potential: The case study of Polish agriculture. Agronomy, 12(9), 2226.
Yılmazer, E. B, Tunalıoğlu, R. (2024). Çiftçiler ve Tarımı Destekleyen Kurum Teknik Elemanlarının Bakış Açısıyla Akıllı Tarım Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 10(1), 70-89.
Yin, H, Cao, Y, Marelli, B, Zeng, X, Mason, A. J, Cao, C. (2021). Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. Advanced Materials, 33(20), 2007764.
Zerssa, G, Feyssa, D, Kim, D. G, Eichler-Löbermann, B. (2021). Challenges of smallholder farming in Ethiopia and opportunities by adopting climate-smart agriculture. Agriculture, 11(3), 192.

TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNİN KARBON AYAK İZİNE OLAN ETKİLERİ

Doç. Dr. Zeynep DUMANOĞLU
Bingol University, Agriculture Faculty, Department of Biosystem Engineering, 12010 Merkez, Bingöl
ORCID ID: 0000-0002-7889-9015
Prof. Dr. Erkan BOYDAK
Bingol University, Agriculture Faculty, Department of Field Crops, 12010 Merkez, Bingöl
ORCID ID: 0000-0002-3466-5356

ÖZET
Tarımsal üretim faaliyetleri, gıda güvenliğinin sağlanması ve ekonomik kalkınmaya yapmış olduğu katkıların yanı sıra küresel sera gazı emisyonlarında önemli bir paya sahiptir. Dünya genelinde tarım sektörünün toplam sera gazı emisyonlarına katkısı yaklaşık %30 olarak tahmin edilirken, Türkiye'de bu oran TÜİK verilerine göre %12,5 ile %13 arasında değişmektedir. Bu çalışmada, tarla bitkileri üretiminin karbon ayak izi profiline olan etkileri incelenmiş; fosil yakıt tüketimi, yoğun azotlu gübre kullanımı, geleneksel toprak işleme yöntemleri ve çeltik üretimindeki anaerobik süreçlerin sera gazı (CH_4, N_2O, CO_2) salınımlarındaki payı değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre kilogram başına en yüksek karbon ayak izi çeltik üretiminde (4.45 kg CO_2-eq/kg) görülürken, baklagiller düşük girdi ihtiyaçları ve kökleri aracılığıyla karbon tutma kapasiteleri sayesinde en düşük karbon ayak izine sahip ürünler olarak öne çıkmaktadır. Sürdürülebilir bir tarımsal üretim için tarla trafiğinin azaltılması, koruyucu toprak işleme tekniklerinin benimsenmesi, C/N oranına uygun gübreleme yapılması ve anız yönetiminin iyileştirilmesi kritik önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, Sürdürülebilir tarımsal üretim, sera gazı emisyonu

THE IMPACT OF FIELD CROP PRODUCTION ON THE CARBON FOOTPRINT

ABSTRACT
Agricultural production activities account for a significant share of global greenhouse gas emissions, in addition to their contribution to ensuring food security and economic development. Whilst the agricultural sector’s contribution to total greenhouse gas emissions worldwide is estimated at around 30 per cent, in Turkey this figure ranges between 12.5 per cent and 13 per cent, according to TÜİK data. In this study, the effects on the carbon footprint profile of arable crop production were examined; the contribution of fossil fuel consumption, intensive use of nitrogen fertilizers, traditional tillage methods and anaerobic processes in rice production to greenhouse gas (CH_4, N_2O, CO_2) emissions was assessed. According to the research findings, the highest carbon footprint per kilogram is observed in rice production (4.45 kg CO_2-eq/kg), whilst pulses stand out as the crops with the lowest carbon footprint, thanks to their low input requirements and their capacity to sequester carbon via their roots. To ensure sustainable agricultural production, it is of critical importance to reduce field traffic, adopt conservation tillage techniques, apply fertilizer in accordance with the C/N ratio, and improve stubble management.
Keywords: Carbon footprint, sustainable agricultural production, greenhouse gas emissions

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, sadece üretim devamlılığı anlamına gelmemektedir. Aynı zaman gıda güvenliğini de sağlanarak, toplumların beslenme ihtiyaçlarının giderilmesi ile diğer sanayi kollarına hammadde temin edilmesi, ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi gibi farklı sektörlere yapmış oldukları katkılar ekonomiye doğrudan yansımaktadır (Bilgili vd., 2023).

Küresel ısınma, iklimsel ve çevresel faktörlerdeki değişim tarımsal faaliyetleri hem etkilenen hem de etkileyen konumunda getirmektedir (EEA, 2023). Sera gazı emisyonları ve buna bağlı olarak karbon ayak izinin önemi zaman içerisinde daha belirgin bir hale gelmiştir. Yapılan çalışmalar, tarım sektörünün, üçte bir oranında (%30) sera gazı emisyonun meydana gelmesine katkı yaptığı sonucuna ulaşılmıştır (Tubiello et al., 2023; Tufan & Özkurt, 2025). Küresel açıdan nüfus artışına bağlı olarak, gıda ihtiyacının karşılanmasına dair daha fazla üretim için çalışılırken, sera gazı emisyonuna katkı yapan gazlar içerisinde önemli yer tutan CH_4, N_2O ve CO_2 bu süreçte atmosfere salınımlarım yeryüzünün ortalama sıcaklığının da arttırmaktadır (Lynch et al., 2021; Öncar Şentürk vd., 2023; Yılmaz Tilki vd., 2025). Bu ısı artışının önünün alınamaması başta su kaynaklarında yaşanacak kıtlık ve biyoçeşitlilikte azalma ile başlayan gıda güvencesinin tehlikeye girmesiyle devam eden bir sürecin ortaya çıkacağı ön görülmektedir (Kurtgil & Beyhan, 2021).

Tarımsal üretim sürecinde bitkilerin yaşam döngüsü içerisinde bu gazların emilimleri ürünlere göre farklı miktarlarda bitki, toprak ve su kaynaklarında tutulmaktadır. Yapılan çalışmalarla ne kadar tutulma olduğu, atmosfere salınan oranlar sayısal olarak hesaplanabilir hale gelmiştir (Baker ve Griffis, 2005). Bu yaşam döngüsünde doğrudan ya da dolaylı yollar ile ortaya çıkan sera gazları zamanla ürünlerin "karbon ayak izi" ni meydana getirmektedir (Wiedmann& Minx, 2008; Toprak, 2025).

Karbon ayak izi (ISO 14067 2013) özellikle sera gazlarının emisyonu özellikle tarımsal ürünlerin yetiştirilme aşamalarına bağlı olarak uluslararası standartları kabul görülen standartların uygulanmaları ile gündeme gelmektedir. Kademeli olarak ürünlerin ve süreçlerinin ölçümleri devam ederken, ilerleyen zamanlar içinde düşük karbon ayak izine sahip üretim sistemlerinin ve ürünlerin belirlenerek, beslenme ihtiyacına göre hazırlanarak tüketiciye sunulacağı ön görülmektedir (Öncar Şentürk vd., 2023).

Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonları içerisinde, TÜİK Ulusal Sera Gazı Envanteri verilerine göre, tarım sektörü yaklaşık %12,5 ila %13 oranında bir paya sahiptir (TÜİK, 2026). FAO'nun yapmış olduğu değerlendirmede ise, dünyadaki sera gazı emisyonu içerisinde tarımsal üretimin (tüm süreçlerini kapsayacak şekilde) yapmış olduğu katkı %30 olarak belirtilmiştir. Ancak bu oranın antropojenik (insan kaynaklı) olduğuna dikkat çekilmektedir. Diğer yandan, tarım kolları içerisinde, doğrudan bitkisel ve hayvansal üretim ile tarım arazilerinin katkı payı yaklaşık %14 ila %20 arasında değişmektedir (Lynch et al., 2021).

Bu çalışma, tarla bitkilerinin üretimi aşamalarında karbon ayak izi profiline olan etkilerine dair yapılan araştırmaların incelenmesi ile üreticilere ve bu konuyla ilgilenen sektör temsilcilerine bir perspektif sunmak amaçlanmıştır.

2. KARBON AYAK IZNIN TARIHSEL SÜRECI VE TARIMIN KATKILARI

II. Dünya Savaşının ardından başlayan endüstrileşme süreci tarımsal üretimde enerji kaynağı olarak başta traktörler olmak üzere diğer mekanizasyon alet ve sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır (Dumanoğlu, 2026). Zaman içerisinde yetiştirme tekniklerindeki gelişmeler, teknolojik uygulamaların çeşitlenmesi ile fosil yakıtların tüketimi artarak devam etmiştir (Avcıoğlu ve Ayten 2016). Norman Borlaug tarafından, "yeşil devrim" olarak ifade edilen ve kendisine 1970 yılında Nobel Barış Ödülü kazandıran bu kavram; üreticileri, verimi yüksek hibrit tohumlara, kimyasal gübrelere ve ilaçlara yönlendirirken su ve toprak gibi kaynakların sömürülerek yüksek gıda ihtiyacı karşılanması hedeflenmiştir. Ancak uzun vadede sürdürülebilirlik açısından bu yöntemlerin toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine, ekosistemde ve biyoçeşitlilikte değişimlere hatta onarılamayacak düzeyde zararlara neden olmuştur (Dumanoğlu, 2026).

İlk olarak 1990'lı yıllarda William Rees ve Mathis Wackernagel tarafından gündeme taşınan karbon ayak izi kavramı, işletmeler için hesaplanabilir bir muhasebe kalemi gibi değerlendirilmiştir (Erden Özsoy & Dinç, 2016; Güven, 2022; Şengün & Kalağan, 2022). Zamanla iklimsel faktörlere olan etkisi daha fark edilir olmaya başlamıştır. FDA (2019), karbon ayak izi için "gıda üretimi ve ilaç imalat süreçlerinde salınan sera gazlarının toplamı" şeklinde bir tanımlama yaparken; WHO (Dünya Sağlık Örgütü) (2018) "sağlık sektörü faaliyetlerin, hizmetlerin ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca neden olduğu toplam sera gazı emisyonları" olarak tanımlamaktadır. Diğer yandan Birleşmiş Milletler (UN) (2020), "bir kişinin organizasyonun, etkinliğin veya ürünün yaşam döngüsü boyunca doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu toplam sera gazı emisyonları" şeklinde bir tanımlama yapmıştır (Sancaklı, 2024). Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansında (3-14 Haziran 1992), atmosferdeki serbest halde bulunan sera gazlarının iklim ve insan kaynaklı etkisini önleyerek, gıda üretimi zarar görmeden, ekonomik ve sürdürülebilir şekilde ekosisteme doğal bir uyum sağlayabilmesi için "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi" imzaya açılmıştır. 1997 yılında Kyoto'da gerçekleştirilen konferans ile "Kyoto Protokolü" atılan ilk somut adım olarak kabul edilmiş ve 2005 yılı itibariyle yürürlüğe girmiştir. Burada, sera gazına neden olan gazların atmosferdeki değerlerinin 1990'lı yıllardaki seviyelerine geri çekilmesi hedeflenmektedir (Şahin ve Onurbaş Avcıoğlu, 2016). Türkiye ise, 2009 yılı itibariyle bu sözleşmeye dahil olmuştur (Tursun, 2023).

Karbon ayak izi, *"birincil ve ikincil karbon ayak izi"* olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Birincil olarak ifade edilen karbon ayak izinde, doğrudan verilere ulaşmak; ikincil ise dolaylı olarak elde edilen verileri tanımlamaktadır. Birincil karbon ayak izinde, özellikle fosil yakıt tüketimiyle alakalı hesaplamalar öne çıkarken; ikincilde tarımsal ürünlerin üretim aşamasıyla başlayan yaşam döngüsü süresince elde edilen veriler örnek olarak verilebilir (Güven, 2022). Tarımsal üretim süreçlerinde enerji kaynaklarının kullanımı, gübreler, pestisitler, lojistik açıdan yapılan taşıma ve iletim işlemleri vb. bu yaşam döngüsünü ifade etmektedir.

Araştırmacılar, tarımsal üretim sürecinde bitkisel ürünlerin yetiştirilmesinde kullanılan tarım alet ve makine sistemlerini, gübre ila pestisit kullanımlarını, topraktan kaynaklanan emisyonları, atıkların taşınması, işlenmesi ve değerlendirilmesi gibi pek çok başlığı bir arada değerlendirmesi gerekmektedir. Hayvansal üretimde bu süreç, yem, süt, et, yumurta üretimi, gübre yönetimi, kesim ve atık kullanımlarından elde edilecek olan verilerin analiz edilmesi

şeklindedir (Karwacka ve ark., 2020; Yılmaz Tilki vd., 2025).

TÜRKSTAT (2019) yayınlamış dağılıma göre; sera gazları emisyonuna yapmış olduğu katkı açısından, hayvansal üretimin %48.04, bitkisel üretimin %37.33; gübre kullanımının %14.37; anız ve tarımsal atıkların yakılmasıyla %0.26 oranında etkisi olduğunu bildirmiştir. Bitkisel üretim içerisinde en fazla orana tarla bitkilerinin üretimi sahip olurken, bahçe bitkileri (meyvecilik, sebzecilik, sera ve örtü altı yetiştiriciliği gibi) doğrudan sera gazlarına en az katkı yapanlar olarak ifade edilmektedir. Bahçe bitkilerinde yetiştirilen ürünlerin daha odunsu bir forma sahip olmaları, uzun süreli bünyelerinde karbonu tutmalarına olanak sağlamaktadır. Diğer yandan, sera ve örtü altı yetiştiriciliğinde özellikle ısınma için enerji kaynaklarının kullanımına bağlı etkisinden dolayı sebzecilik, meyve yetiştirmeye göre biyolojik emisyondan daha çok enerji kaynakları ile dolaylı şekilde sera gazı emisyonlarına etki etmektedirler (Scandellari et al., 2016).

IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) Kılavuzlarında yer alan raporlara göre; tek yıllık üretim yapılan tarla bitkilerinin yeni ekim sezonu öncesinde araziden uzaklaştırılması, kök yapılarının meyve ağaçlarına kıyasla odunsu olmamalarından dolayı bir karbon tutucu gibi görev yapamazlar. Diğer yandan çok yıllık tarla bitkileri, meyve ağaçları, bağlar, vb. gövde ve kök sistemlerinde karbonu uzun süreli tutabilmektedirler (Scandellari et al., 2016).

3. TARLA BITKILERINDE KARBON AYAK İZI

Tarla bitkilerinin gelişiminde önemli bir yere sahip olan azotlu bileşikler, bitkilerin ihtiyaç duyduğu zamanda ve miktarda verilmesi hedeflenen verimi doğrudan etkileyen parametreler içerisinde yer almaktadır. Ancak uygulanacak olan gübrenin organik olmaması, toprakta kalma sürelerinin hem toprak faunası hem de florası açısından istenilen düzeyde olmaması, ihtiyaçtan ya da mühendisler tarafından önerilen dozdan çok daha fazla kullanılması vb. durumlar sonunda birikmeler meydana gelmekte ve kıt kaynakların kirlenmesi, ekosistemde majör değişimlere neden olmaktadır (Lynch et al., 2021). Toprakta aktif olan mikroorganizmaların özellikle azotlu ve karbonlu bileşikleri, yapılan müdahalelerle ön görülenden çok daha hızlı bir şekilde parçalaması ilk etapta bitki gelişiminde ataklara neden olsa da zaman içinde topraktaki organik madde miktarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, topraktaki organik madde miktarı, verilecek gübreler, uygulama şekil ve formları için muhakkak topraktaki C/N oranı özetilerek dozlar belirlenmelidir (Dumanoğlu, 2025).

Tarım arazilerinin ekim sezonu için hazırlanması sırasında, üreticilere mümkün olduğunca tarla trafiğinin en aza indirilmeleri önerilmektedir. Dikkat edilmediği takdirde, zamanla toprak agregat yapısının bozulması, toprak sıkışması, yağışlar ve sulama sonrasında drenajın tam olarak gerçekleşmemesine bağlı yer yer göllenmeler ile erozyonla karşılaşılması kaçınılmazdır. Ayrıca, enerji kaynaklarından salınan gazların, toprak işleme yoğunluğuna ve topraktan atmosfere salınan gazların O_2 ile bağlanmasıyla sera gazları meydana gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek için öncelikle geleneksel üretim yöntemlerinden daha çok koruyucu toprak işleme ya da doğrudan ekimin bu aşamada tercih edilmesi, sürdürülebilir bir üretim için gereklidir (Dumanoğlu, 2025). Özellikle çeltik üretim sera gazı emisyonlarında ayrı bir başlık olarak değerlendirilmektedir. İçi su dolu tavaların içerisinde yetiştirilen çeltik, zamanla sudaki oksijen miktarının azalmasıyla birlikte metan gazının salınımında artışlar yaşanmaktadır. Dünya gıda ihtiyacının karşılanmasında stratejik ürünler içerisinde yer alan pirincin, üretim

şartlarının iyileştirilmesi, salınan metan gazı miktarının düşürülmesine yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Aydın vd., 2011). Diğer tarımsal faaliyetlerin içerisinde ise, atıkların yakılması, gübre kullanımı bulunmaktadır (Şahin ve Onurbaş Avcıoğlu, 2016).

Tablo 1. Bazı tarımsal ürünlere ait karbon ayak izi değerleri

Tarımsal Ürün	Karbon Ayak İzi (kg CO_2-eq / kg ürün)	Başlıca Emisyon Kaynağı
Çeltik (pirinç)	4.45 kg	Su altındaki anaerobik süreç ve metan gazı CH_4 salınımı
Mısır	1.70 kg	Yoğun azotlu gübre kullanımı, topraktan N_2O salınımı
Buğday ve Çavdar	1.57 kg	Gübre kullanımı ve toprak işleme faaliyetleri
Bezelye (kuru)	0.98 kg	Toprak işleme ve hasatta mekanizasyon uygulamaları
Mercimek ve Fasulye	0.80-0.90 kg	Düşük girdi ihtiyacı

Yapılan araştırmalara göre; tarla bitkileri içerisinde kilogram başına düşen en fazla sera gazı emisyon oranı pirinçte ortaya çıkarken, baklagiller ve bezelye gibi ürünlerin kökleri aracılığı ile karbonu toprakta tutmalarıyla sera gazı emisyonuna en az etkiye sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 1) (Poore & Nemecek, 2018).

4. SONUÇ

Uzun yıllar süresince yapılan araştırmalar sonucunda sera gazı emisyonun göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir konu olduğunda ortak bir karara varılmıştır. Buna bağlı olarak ortaya çıkan ve tarımsal üretimden, endüstriye hatta kişinin yaşam döngüsü üzerinden karbon ayak izinin hesaplanması mümkün hale gelmiştir. Araştırıcılar, zaman içerisinde tüketilen ürünlerin ambalajlarında ne kadarlık bir karbon ayak izine sahip olduğu bilgisinin ekleneceğini ön görmektedirler. Özellikle sera gazı emisyonuna %30 gibi yüksek bir oranda tarımsal üretim katkı yapması; bu süreçler içerisinde ortaya çıkan karbon ayak izi miktarının belirlenmesiyle mümkün olduğunca az enerji kaynağı kullanarak, tarla trafiğini azaltılarak, kullanılan gübre miktar ve özelliklerine dikkat edilmesi, hasat sonrası ürün işleme basamaklarına, anız artıklarının değerlendirilmesi vb. sürdürülebilir bir ilerlemenin mümkün olacağı odağında buluşulmaya çalışılmaktadır.

KAYNAKLAR

Aydın, G., Karakurt, İ & Aydıner, K. (2011). Antropojenik Metan Emisyonlarının Sektörel Analizi. Ders notu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Avcıoğlu, O. & Ayten, Ş.G. (2016). Tarımsal Üretimde Sera Gazları ve Karbon Ayak İzi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal Of Agricultural Machinery Science)*, 12(3), 157-162157.

Baker, J.M. & Griffis, T.J. (2005). Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using eddy covariance and mass balance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128 (3), 163–177.

Bilgili, M.E., Kuzu, H. & Aybek, A. (2023). Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Yetiştirilen Bazı Yağlık Tarla Bitkilerinin Üretimine İlişkin Karbondioksit Emisyonları. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi.* 19(3):246-

257.
Dumanoğlu, Z. (2025). Toprak işleme makineleri ve çalışma özellikleri. Tarımsal mekanizasyon Ders Notları. Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl.
Dumanoğlu, Z. (2026). Tarımsal üretimde sürdürülebilirlik kavramı. Hassas Tarım Teknolojileri Ders notları, Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl.
EEA (2023). Reduction of greenhouse gas emissions. European Environment Agency. (https://www.eea.europa.eu/tr/themes/climate/intro).
Erden Özsoy, C. & Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekolojik Ayak İzi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*. 53(619):35-55.
Güven, A. (2022). Sürdürülebilir Karbon Ayak İzi. Kamu yönetiminde güncel perspektifler. Ed: A.Güven. ISBN: 978-625-8373-87-5.pp:37-48. Kriter Yayınevi, İstanbul.
Karwacka, M., Ciurzyńska, A., Lenart, A. & Janowicz, M. (2020). Sustainable development in the agri-food sector in terms of the carbon footprint: A review. *Faculty of Food Sciences, Department of Food Engineering and Process Management*, Warsaw University of Life Sciences, SGGW, Poland.
Kurtgil, S. & Beyhan, Y. (2021). The role of life cycle and sustainable nutrition. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11: 425-430.
Lynch, J., Cain, M., Frame, D. & Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture's Contrribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct Fraom Predominantly Fossil CO2-Emitting Sectors. *Front Sustain Food Syst*. 4:518039.
Öncar Şentürk, G., Gök, G. & Koçyiğit, H. (2023). Tarımda Karbon Ayak İzi ve İklim Değişikliğine Etkisi. *Artvin Coruh University Journal of Engineering and Sciences.* 1(1):12-24.
Sancaklı, E. (2024). Türkiye'de Karbon Ayak izi Konulu Lisansüstü Tezlerinin İncelenmesi. *PEYZAJ-Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*. 6(1):50-60.
Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese, A.M., Zanotelli, D., Celano, G., Gucci, R., Inglese, P., Pitacco, A. & Tagliavini, M. (2016). A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *Eur. J. Hortic. Sci*. 81(2):106-114.
Şahin, G. & Onurbaş Avcıoğlu, A. (2016). Tarımsal üretimde sera gazları ve karbon ayak izi. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi*. 12(3):157-162.
Şengün, E. & Kalağan, G. (2022). Yerel Yönetimlerin İklim Değişikliği Mücadele Sürecinde Karbon Ayak İzinin Düşürülmesi. *Denizli Büyükşehir Belediyesi Örneği. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 5 (1), 129-149.
Toprak, Ç.C. (2025). Karbon Ayak izi Perspektifinden İHA'ların Buğday Tarımındaki Rolü: Sürdürülebilir ve Enerji Verimliliği Analizi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi. 7(2):99-108.
Tufan, Y. & Özkurt, M. (2025). Doğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Yonca (Medicago sativa L.) Üretimde Fosforlu ve Potasyumlu Gübre Kullanımının Karbon Ayak İzi. *All Science Academy*. 5th International Conference on Resent Academic Studies. (02-03 December),p:94-99, Konya.
Tursun, M., (2023). Tarımsal Üretim Alanlarında Karbon Maliyetinin Belirlenmesi ve Muhasebeleştirilmesi. Pres*sAcademia* (PAP)). 11th İstanbul Finance Congress (IFC). ISBN:978-605-005192-5-6.
Wiedmann, T. & Minx, J. (2008). A definition of "carbon footprint". In C.C. Pertsova (Ed.) Ecological economics research trends. Nova Science Publishers. pp:1-11, NewYork.
Yilmaz Tilki, H., Mahmut Keskin, M. & Gül, S. (2025). Sürdürülebilir Hayvancılık Perspektifinden Keçi Yetiştiriciliği: Beslenme Güvencesi ve Karbon Ayak İzi. *Tarım, Gıda, Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 6(2):441-454.

THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE BANU HILAL EPIC IN ORAL AND WRITTEN TRADITIONS

Sevinj Eldar gizi Hazratguliyeva
PhD Student, Institute of Oriental Studies named after Ziya Bunyadov, Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS)
ORCID: https://orcid.org/ 0009-0001-5029-951X

Summary
This article examines the formation of the Banu Hilal epic within the oral tradition, its transition into written texts, and its development in different historical and cultural settings. The introduction discusses the epic's connection with the Hilali migrations of the 11th century and how historical events acquired literary form in popular memory. The topic is relevant because the epic needs to be studied not merely as a written text, but as a changing tradition linked to performance, memory, and regional cultures. The article explores manuscripts and printed versions circulated in the 19th century, the role of performers in shaping the text, musical performance, regional variants, and the epic's linguistic and stylistic features. The preservation of common plot elements in texts from different regions, alongside changes in the sequence and presentation of episodes, reveals the characteristics of oral transmission. The study concludes that the Banu Hilal epic is not a fixed and unchanging text; rather, its content and performance have been reshaped across different periods, regions, and audience settings. Its inclusion on UNESCO's Intangible Cultural Heritage list in 2008 further highlights the importance of preserving its living performance tradition.
Keywords: Banu Hilal epic, oral tradition, written variants, performer, regional differences, intangible cultural heritage.

BENU HİLAL DESTANININ SÖZLÜ VE YAZILI GELENEKTE OLUŞUMU VE GELİŞİMİ

Özet
Bu makalenin amacı, "Beni Hilal" destanının sözlü gelenekte oluşumunu, yazılı metinlere aktarılmasını ve farklı tarihsel ve kültürel ortamlarda gelişme özelliklerini incelemektir. Giriş bölümünde destanın 11. yüzyılda gerçekleşen Hilalî göçleriyle ilişkisi ve tarihsel olayların halk belleğinde edebî bir içerik kazanması ele alınmaktadır. Konunun güncelliği, destanın yalnızca yazılı bir metin olarak değil, icra, bellek ve bölgesel kültürlerle bağlantılı, zaman içinde değişen bir gelenek olarak incelenmesi gereğinden kaynaklanmaktadır. Makalede el yazmaları ve 19. yüzyılda yayılan basılı nüshalar, icracıların metnin oluşumundaki rolü, müzik eşliğinde icra geleneği, bölgesel varyantlar ve destanın dil ve üslup özellikleri incelenmektedir. Farklı bölgelerdeki metinlerde ortak olay örgüsü unsurlarının korunması, buna karşılık bölümlerin sıralanışının ve sunuluş biçiminin değişmesi, destanın sözlü aktarım özelliklerini göstermektedir. Sonuç olarak "Beni Hilal" destanının sabit ve değişmez bir metin olmadığı; içeriğinin ve icra biçiminin farklı dönemlerde, bölgelerde ve dinleyici çevrelerinde yeniden şekillendiği ortaya konulmaktadır. Destanın 2008 yılında UNESCO'nun Somut Olmayan Kültürel Miras listesine alınması, canlı icra geleneğinin korunmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: "Beni Hilal" destanı, sözlü gelenek, yazılı varyantlar, icracı, bölgesel farklılıklar, somut olmayan kültürel miras.

Introduction. The formation of the Banu Hilal epic is closely connected with the Hilali migrations of the 11th century and the preservation of these events in the memory of Arab communities. Over time, historical events acquired artistic form through oral tradition and were passed down from generation to generation, gaining new plots and characters. For this reason, the origins of the epic cannot be explained through written sources alone. Live performance, memory, and the creativity of storytellers played an important role in its formation, while written versions appeared at later stages of this process.

The manuscripts and printed editions known today show that the epic did not exist as one fixed and unchanging text. Although versions preserved in different regions share similar plot elements, they may differ in the order of events, the presentation of characters, and language and style. These features make it necessary to study the Banu Hilal epic both as a literary work and as an oral tradition that has continued to develop in different social and cultural settings.

Relevance of the Topic. Studying the development of the Banu Hilal epic in oral and written traditions is important for understanding how Arabic oral literature took shape, how historical events were transformed into literary narratives, and how folklore works changed over time. The existence of different versions means that the epic should be studied not only through textual differences, but also in relation to performance conditions, audiences, and regional cultures.

The decline of traditional performance settings makes the topic even more relevant. In several areas, live performances of the epic have lost much of their former place, and some forms have moved into modern media such as television and theatre. A combined study of manuscripts, printed editions, and information about performance traditions can therefore provide a fuller understanding of the epic's historical development and clarify the importance of preserving it as intangible cultural heritage.

The Main body. The early formation of the Banu Hilal epic is linked to the preservation of historical events in popular memory and their later transformation into artistic narratives. The Hilali migrations of the 11th century left a lasting mark on the historical experience of Arab communities across a wide area. As these events were passed on orally, they changed and developed into literary plots, enriched by the experiences of successive generations.

The limited written evidence for the epic's development between the 14th and 18th centuries does not mean that it did not exist during that period. On the contrary, the shared plot elements found in manuscripts recorded in the late 18th and early 19th centuries suggest that the epic had taken shape earlier in an oral environment. The presence of similar motifs in manuscripts from different regions, despite the lack of established direct written links between them, highlights the role of oral transmission. Some spelling and dictation errors in the manuscripts also support the possibility that the texts were copied from oral sources.

Jan Assmann's view that ideas about the past are reshaped in each new period is useful for explaining this process [Assmann, 2011, p. 37]. The different versions of the Banu Hilal epic likewise show that its central plot was interpreted in different ways across periods and social settings. These differences should therefore be understood not simply as changes to the text, but as evidence of how the epic continued to live in different communities.

The Role of Performers and Musical Tradition. In oral tradition, an epic is not merely a text committed to memory; it is an artistic work that is reshaped during performance. Walter J. Ong notes that oral thought relies on live speech and expression suited to a particular situation [Ong, 1982, p. 31]. This feature can be seen in the Banu Hilal epic through its recurring motifs, repeated expressions, episodic structure, and the possibility of making changes during performance.

Poets and storytellers who perform the epic play an important role in preserving and developing it. While keeping the main plot, performers may expand, shorten, or present particular episodes differently according to the audience's interests and the circumstances of the performance. According to Dwight Reynolds, in the Arabic oral epic the performer is not merely a transmitter of the text but also a co-creator [Reynolds, 1995, p. 42]. This approach helps explain the emergence of different versions and the gradual enrichment of the text.

Edward Lane's observations from the early 19th century provide valuable information about the performance of the Banu Hilal epic. According to his account, it was performed orally, without reliance on a book, and accompanied by music. This distinguished it from some other epics that were read aloud from books or performed without music. The rabab was one of the main instruments used. Later, small ensembles also developed, combining instruments such as the violin, tambourine, drum, and other instruments. The development of different melodic and rhythmic patterns contributed to the emergence of regional performance styles in Egypt.

Performances of the epic were especially widespread in northern and southern Egypt. According to information cited by Heikki Palva, similar musical performances also existed in Palestine, Lebanon, and Syria in the late 19th and early 20th centuries [Palva, p. 116]. Performers often used humorous and dramatic episodes to maintain the audience's interest. Their changes to the story and the way they presented particular motifs demonstrate the lively and flexible nature of the tradition.

Written Versions and Printed Editions. The recording of the Banu Hilal epic in writing did not result in a single, fixed text. Different parts of the epic were written down at various times, but the written copies retained features of the oral tradition. The growing number of manuscripts in the late 18th and early 19th centuries makes it possible to trace this tradition in written form. Many of these texts are held at the Berlin State Library, while other copies are kept in libraries in Europe and the Middle East. However, some manuscripts have not yet been fully studied.

From the second half of the 19th century onwards, the epic was also circulated in printed booklets known as "kutub sufra." These editions were largely based on manuscripts, although their source relationships and variants have not been fully clarified. The booklets combine expressions close to spoken Arabic with elements of Classical Arabic. Their texts alternate between prose, verse, and rhymed prose. This structure made them suitable both for reading aloud and for audiences with different levels of education.

The multi-volume edition printed at the Bulaq Press in Cairo in the 19th century is considered one of the most extensive written forms of the epic. Even this edition, however, contains repeated events, parallel plots, and episodes that are sometimes presented in a complex order. These features show that the written versions were not fully separated from the influence of oral tradition. Some manuscripts also place certain characters in the foreground while giving less attention to others.

Regional Variants and Literary Features. The different ways in which the Banu Hilal epic is presented across regions show how its content is shaped by local historical and cultural circumstances. In North African versions, the conflict between Banu Hilal and the armies of al-Zanati is associated with the struggle for power and influence between Arabs and Berbers. According to Norris, this part of the epic has been especially well preserved in Morocco, Algeria, and Tunisia [Norris, p. 473].

In Egyptian versions, the ethnic meaning of this conflict is not emphasised to the same extent. In Sudanese versions, the epic may take on a different meaning, reflecting the arrival of Arab populations in the region and the interaction of Arab and African identities. In this context, the character of Abu Zayd is particularly important. He is presented as a hero who connects

different cultural settings. In this way, the epic, in both its oral and written forms, also reflects social relations, identity, and cultural interaction.

Regional differences are also visible in the structure of the plot. In some versions, the order of events changes; certain episodes are expanded with additional descriptions and dialogue, while others are shortened or given less prominence. In some printed texts, events are grouped under headings such as the hero's birth, battles and victories, or the hero's end. Nevertheless, poetic features such as repetition, rhythmic structure, and parallel expressions are largely preserved across the different versions.

The approach of oral poetics helps explain these features. Repeated expressions, familiar characters, and set phrases support the performer's memory while also allowing some freedom in presenting the story. Thus, although the main events remain, the way they are told and the points that receive emphasis can change according to the performer's style, the audience, and regional tradition.

The State of the Performance Tradition Today. The oral performance tradition of the Banu Hilal epic has weakened in the modern period. Sources report that live performances in Egypt have largely lost their former position, while this process began earlier in some other parts of the Arab world. Modern lifestyles, mass media, and the spread of popular culture have changed the settings in which traditional performances take place. Performances once presented at weddings and popular celebrations are now more often associated with media such as television and theatre.

The inclusion of the epic on UNESCO's Intangible Cultural Heritage list in 2008 brought renewed international attention to the importance of preserving it. This recognition highlights the need to value the epic not only as a written text, but also through its performance methods and transmission traditions. Although the traditional performance setting has weakened, the epic's continued presence in modern forms of presentation also shows its ability to adapt to new circumstances.

Conclusion. This study shows that the formation and development of the Banu Hilal epic are linked to the preservation of historical events in oral memory, their transformation into artistic narratives, and their transmission from generation to generation. The different manuscript and printed versions indicate that the epic first took shape in an oral environment and retained its changing nature even after entering the written tradition.

Performers were not merely intermediaries in transmitting the epic; they also helped reshape and enrich the text. Musical accompaniment, repetition, set expressions, and episodic structure are among the main features of this tradition. At the same time, regional versions differ in how the plot is presented, how characters are interpreted, and how language and style are used. These differences show that the epic developed through its interaction with the historical experiences and cultural settings of different communities.

The Banu Hilal epic is therefore best studied not as a fixed text, but as a literary and cultural work shaped by the interaction of oral performance and written transmission. Studying its manuscripts, printed editions, and regional performance features together can help clarify the stages of its development. The decline of the living performance tradition makes it especially important to document and preserve existing texts and information about their performance.

REFERENCES

1. Assmann, J. (2011). Cultural memory and early civilization: Writing, remembrance, and political imagination. Cambridge University Press.
2. Connelly, B. (1973). The structure of four Banī Hilāl tales: Prolegomena to the study of sīra literature. Journal of Arabic Literature, 4, 18–47.
3. Lane, E. W. (1936). An account of the manners and customs of the modern Egyptians.
4. Lyons, M. C. (1995). The Arabian epic: Heroic and oral story-telling (Vols. 1–2). Cambridge University Press.
5. Norris, H. T. (1988). The rediscovery of the ancient sagas of the Banū Hilāl. Bulletin of the School of Oriental and African Studies, 51(3), 462–481.
6. Ong, W. J. (1982). Orality and literacy: The technologizing of the word. Methuen.
7. Reynolds, D. F. (1995). Heroic poets, poetic heroes: The ethnography of performance in an Arabic oral epic tradition. Cornell University Press.
8. Slyomovics, S. (1987). The merchant of art: An Egyptian Hilali oral epic poet. University of California Press.
9. UNESCO. (2003). Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage. https://ich.unesco.org/en/convention

AZERBAYCAN'DA TURİZMİN MADDİ VE TEKNİK TEMELİ

Yegana AHMADOVA
Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of History and Geography, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0000-0002-5570-7041

ÖZET
Maddi ve teknik altyapı, Azerbaycan'da turizm sektörünün kesintisiz ve verimli bir şekilde işlemesini sağlayan temel altyapıyı oluşturmaktadır. Bu çerçeve, konaklama tesisleri, ulaşım altyapısı, ikram kuruluşları, turizm şirketleri ve çeşitli yardımcı hizmet sağlayıcıları da dahil olmak üzere turizm faaliyetleri için gerekli tüm fiziksel varlıkları ve hizmet sistemlerini kapsamaktadır. Hizmet kalitesinin sağlanması, turist talebinin karşılanması ve turizm sektörünün sürdürülebilir büyümesinin desteklenmesi için iyi gelişmiş bir maddi ve teknik altyapı şarttır. Bu sistemin herhangi bir bileşenindeki yetersizlik, hizmet standartlarının düşmesine ve turizm ürünlerinin rekabet gücünün azalmasına neden olmaktadır.
Konaklama tesisleri bu yapıda merkezi bir rol oynamaktadır. Uluslararası sınıflandırma standartlarına göre, konaklama tesisleri toplu ve bireysel kategoriler halinde gruplandırılmıştır. Toplu konaklama; oteller, hosteller, sanatoryumlar, dinlenme kampları ve kongre merkezlerini içerir; bunlar konaklamanın yanı sıra ek hizmetler de sağlayan tesislerdir. Bireysel konaklama ise özel konutlar, kiralık daireler, villalar, kır evleri ve yerel halk veya akrabaları tarafından sunulan diğer konutlardan oluşur. Azerbaycan'da konaklama tesisleri yalnızca işlevsel olarak değil, aynı zamanda belediye kuruluşları, yabancı sermayeli ortak girişimler ve uluslararası katılımlı özel sektör işletmeleri gibi mülkiyet biçimleri açısından da farklılık göstermektedir.
Tarihsel olarak, Azerbaycan'daki konaklama hizmetleri, ana ticari rotalar boyunca ticareti ve seyahati destekleyen geleneksel yol kenarı yapılarından kaynaklanmıştır. Zamanla, bu erken dönem yapıları, daha geniş sosyoekonomik gelişmeleri, kentsel büyümeyi ve artan hareketliliği yansıtan modern konaklama tesislerine dönüşmüştür. Sanayileşme döneminde, özellikle 19. yüzyılın sonlarından itibaren, ekonomik faaliyetlerin genişlemesi, turizm altyapısının modernleşmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.
Ulaşım, maddi ve teknik altyapının bir diğer önemli bileşenini oluşturur. Turizm sektörü, esnekliği ve erişilebilirliği nedeniyle en baskın olanı olan karayolu, hava, deniz, demiryolu ve nehir taşımacılığını kullanır. Uluslararası hava bağlantıları ve mevsimlik deniz yolları, bölgesel ve küresel hareketliliği artırarak, gelen ve giden turizm akışlarını destekler.
Yiyecek-içecek sektörü de turizmin gelişiminde vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Kurumsal mutfak organizasyonlarının kurulması ve çeşitli yiyecek-içecek hizmeti işletmelerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, Azerbaycan'ın gastronomi seçenekleri turist deneyiminin önemli bir unsuru haline gelmiştir. Bu çeşitlilik, kültürel ve mutfak özgünlüğünü giderek daha fazla vurgulayan küresel turizm trendleriyle de örtüşmektedir.
Genel olarak, konaklama, ulaşım, ikram ve hizmet altyapısının entegre gelişimi, Azerbaycan'ın çağdaş turizm sektörünün omurgasını oluşturmaktadır.
Anahtar kelimeler: Turizm altyapısı, Maddi ve teknik altyapı, Konaklama tesisleri, Ulaşım hizmetleri, Yiyecek-içecek hizmetleri.

THE MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF TOURISM IN AZERBAIJAN

ABSTRACT

The material and technical base constitutes the foundational infrastructure enabling the continuous and efficient operation of the tourism industry in Azerbaijan. This framework encompasses the entirety of physical assets and service systems required for tourism activities, including accommodation facilities, transport infrastructure, catering institutions, tourism companies, and various auxiliary service providers. A well-developed material and technical base is essential for ensuring service quality, meeting tourist demand, and supporting the sustainable growth of the tourism sector. Insufficiency in any component of this system results in declining service standards and reduced competitiveness of tourism products.

Accommodation establishments play a central role in this structure. According to international classification standards, accommodation facilities are grouped into collective and individual categories. Collective accommodation includes hotels, hostels, sanatoriums, recreational camps, and congress centers—facilities that provide lodging along with additional services. Individual accommodation consists of private residences, rented apartments, villas, cottages, and other dwellings offered by local residents or relatives. In Azerbaijan, accommodation facilities differ not only functionally but also by ownership form, such as municipal establishments, joint ventures with foreign capital, and privately owned enterprises with international participation.

Historically, accommodation services in Azerbaijan originated from traditional roadside structures that supported trade and travel along major commercial routes. Over time, these early forms transformed into modern lodging facilities, reflecting broader socioeconomic developments, urban growth, and increasing mobility. During the industrialization period, especially from the late 19th century onwards, the expansion of economic activities contributed significantly to the modernization of tourism infrastructure.

Transport constitutes another vital component of the material and technical base. The tourism sector utilizes road, air, sea, railway, and river transport, with road transport being the most dominant due to its flexibility and accessibility. International air connections and seasonal maritime routes further enhance regional and global mobility, supporting inbound and outbound tourism flows.

The catering sector also plays an indispensable role in tourism development. With the establishment of institutional culinary organizations and the expansion of diverse food service enterprises, Azerbaijan’s gastronomic offerings have become an important element of the tourist experience. This diversification aligns with global tourism trends that increasingly emphasize cultural and culinary authenticity.

Overall, the integrated development of accommodation, transport, catering, and service infrastructure forms the backbone of Azerbaijan’s contemporary tourism industry.

Keywords: Tourism infrastructure, Material and technical base, Accommodation facilities, Transport services, Catering services.

1. INTRODUCTION

The material and technical base of tourism represents one of the core foundations ensuring the sustainable functioning, competitiveness, and long-term development of the tourism sector. In modern tourism systems, the availability, quality, and diversity of material resources—such as accommodation facilities, transport infrastructure, catering establishments, recreational centers, and technical equipment—determine both the efficiency of tourism enterprises and the

satisfaction level of visitors. As the tourism industry grows, so does the need for improved infrastructure, specialized institutions, and service complexes capable of meeting international standards.

In the context of Azerbaijan, the development of the tourism industry has been closely linked to the formation and modernization of its material and technical base. Historical evidence shows that Azerbaijan's accommodation culture dates back to ancient caravanserais, which once served as major hubs along the Silk Road. With time, these traditional structures evolved into modern hotels, tourist bases, sanatoriums, and recreational complexes. Today, Azerbaijan's strategic geographic location, rich natural resources, and dynamic economic environment create strong prerequisites for strengthening its tourism infrastructure. The expansion of accommodation facilities, improvement of transportation networks, diversification of catering establishments, and integration of foreign capital have led to a more competitive and multifaceted tourism market. Therefore, analyzing the structure, components, and developmental tendencies of the material and technical base of tourism in Azerbaijan is essential for identifying existing strengths, addressing challenges, and enhancing the sector's future prospects.

FINDINGS

Subjects engaged in the tourism industry must have various means of labor in order to operate continuously. The totality of labor tools used in tourism is the basis of its material and technical base. The material and technical base of tourism includes tourism structures (buildings), their technical equipment, vehicles and other basic funds. The material and technical base is the basis of the development of organized tourism.

The material and technical base of tourism includes tourism companies (tour operators and travel agents), hotels, tourist bases, catering, trade, motor transport enterprises, tourist equipment rental points, tourist ticket sales offices, rescue services, tourist clubs and so on.

According to the types of services, there are the following types of tourism enterprises:

- Enterprises that provide tourists with the entire service complex (tourist companies with their own hotels);
- Enterprises established for the purpose of organizing tourism (travel agencies), travel and excursion, ticket sales, tourist reception offices;
- Establishments (hotels, tourist bases, etc.) established for the purpose of accommodation, or rather, accommodation and overnight stay of tourists;
- Catering establishments (restaurants, bars, etc.);
- Facilities that provide cultural services to tourists (theaters, concert halls, etc.) and enterprises that provide excursion services (excursion bureaus).

The material and technical base of tourism in any region should meet the needs of tourists according to its composition, strength, quantity and quality. Otherwise, the level and quality of tourism services to the population deteriorates rapidly, which in turn leads to a decrease in the volume of sales of tourist products.

- Accommodation establishments for tourists

Hotels, tourist bases, motels, hotels, camps and etc are included in the establishments created for the purpose of accommodation of tourists. Camps or comas near tourist bases or tourist companies can also be accommodation facilities for overnight stops of groups during the route. In international practice, the standard classification of tourist accommodation has been accepted.

WTO experts divide placement tools into two categories:

- Collective
- İndividual

The collective means of accommodation is understood as "any facility", so that tourists are provided with the possibility of permanent, sometimes overnight accommodation in a room or another place, but the number of rooms should not exceed the minimum set independently by each country. Means of collective accommodation of tourists include hotels and similar accommodation facilities, specialized places and other accommodation facilities. Similar establishments include boarding houses and furnished tourist hostels and other means of accommodation. Specialized companies provide other services in addition to placement services. These types of institutions include health centers, labor and recreation camps, congress centers, etc.

All means of placement are classified into separate groups.

- The group of hotels and similar establishments includes hotels, hostels, motels, beach hotels, lodging clubs, boarding houses, furnished rooms, tourist hostels, etc.
- The group of specialized establishments consists of sanatoriums, labor and recreation camps, accommodation on public means of transport (train, sea and river ships, yachts), as well as congress centers.
- Another group of collective accommodations consists of residential, recreational building and bungalow complexes, tent sites, houses on wheels, yachts for small ships, and youth hostels, etc.

Individual means of accommodation include private residences used by residents - apartments, villas, country houses, cottages, rooms rented from the population or organizations, and accommodations provided free of charge by relatives and acquaintances.

Just as there are different categories of divisions in accommodation enterprises, the division by form of ownership is also very important.

Currently, the distribution in Azerbaijan is as follows.

- accommodation facilities owned by the municipality
- means of co-location with foreign capital
- accommodation facilities belonging to foreign hotel chains
- accommodation facilities belonging to foreign citizens

The history of settlement enterprises in Azerbaijan and the formation of the first business in this field dates back to ancient times. It is clear that the first accommodation facilities in Azerbaijan were called caravanserais. Caravanserais differed significantly from modern serviced hotels. Caravanserais were built not only in cities, but also on roadsides. The history of the caravansary remaining in the territory of Azerbaijan belongs to VI-XIX centuries. Ancient caravansaries can be found in Meraze, medieval caravansaries in Bayil, Siyazan, Gilazi. Some sources indicate that there are 8 caravansary in the Baku fortress. Bukhara, Multani, Big caravansary, Small caravansary, etc. were located in Baku.

It was no accident that the caravansary was located in a compact area. Because Baku already played an important role as a sea port in the trade of eastern states in the Middle Ages. Goods were transported through the Caspian Sea and from cities located on the Great Silk Road (Shamakhi, Barda, Darband). The construction of caravansary continued until the 19th century. Their geography was expanded and spread to Ganja, Nakhchivan and other areas.

In the second half of the 19th century, due to the development of the oil industry, the center of Baku began to expand and beautify. The oil business has also had a significant impact on the accommodation business. At the beginning of the 20th century, the first hotel "New Europe" (currently the building of the "Lukoil" Trading House) was opened in the center of Baku to

serve the rich people of the city and foreigners. A few years later, a new "Metropol" hotel (currently the building of the Nizami Museum) was built. From the 20s of the 20th century until the end of World War II, no new hotels were built in Baku. In the 1950s and 1960s, the construction of "Inturist" and "Nakhchivan" hotel buildings began. In the 1970s, the construction of accommodation facilities in Azerbaijan accelerated. At this stage, the buildings of "Baku", "Tourist", "Azerbaijan" and "Absheron" hotels are being built and completed.

Absheron economic district is in the first place in terms of the number of rooms in hotels and hotel-type establishments of the luxury and I-class categories. Undoubtedly, according to these indicators, the city of Baku has a superior position. Guba-Khachmaz economic district ranks first in terms of the number of tourist-grade places.

The recreational factors of the Caspian Sea coast of Azerbaijan provide an opportunity to develop the material and technical base of tourism here. From this point of view, it is necessary to mention the recreation centers on the banks of Yalama-Khudat. There are two large tourist bases belonging to the trade union organization - "Dostlug" (400 seats) and "Khazar" (300 seats). In the zone, "Shahdag", "Bulag", special boarding houses (Palermo, Palma, Sahil, etc.) belonging to other organizations are at the disposal of vacationers. Recreational places for young people ("Ilgım", "Tourist", "Araz", etc.) are also available in this zone."Afurca" and "Long-Forest" recreation centers, created on the basis of foreign capital, operate in the mountain-forest zone of Guba."Isti-su" sanatorium operates in Lankaran-Astara zone. This zone is rich in recreational factors (curatively important springs, rare mountain-forest landscape, sea climate) to expand the resort-sanatorium network.

Vehicles

Vehicles are included in the main funds of the financial base of tourism. One of the most important factors in the tourism market of Azerbaijan is providing the market with transport services. In the tourism market, car, sea, railway, river and air transport services are used. The most widespread in this area is car transport.

- Baku-Sumgait-Shabran-Khachmaz;
- Baki - Siyazan-Mashrif-Galaalti;
- Baku-Alat-Yevlakh-Ganja-Gazakh;
- Baku-Shamakhi- Agsu-Ismayilli-Goychay;
- Baku-Yevlakh-Ganja-Kazakh;
- Baku-Yevlakh-Shusha;
- Baku-Salyan-Astara, etc

Roads in the north, south and west direction are more loaded. The Caspian Sea also plays a role in tourism-excursion services. Passenger transportation between Baku-Turkmanbashı ports is 25-30 thousand people per year. On the other hand, sea trips are also offered between Baku and Neft Daslari in the summer months.

Apart from national airlines, there are representative offices of airlines of other countries in the Republic. These are Russia, Ukraine, Iran, Turkey, AFR, Pakistan. They are companies belonging to Sweden, USA, Uzbekistan, France, Great Britain, United Arab Emirates and other countries. As tours expand, the importance of air travel increases.

Food establishments

The food sector, which is one of the important factors in the development of tourism, was formed in Azerbaijan, and the National Culinary Center was established (1991). "Amburan", "Karvansara", "Bah-bah club", "Mc Donald's", "Pissa-nat", "Dolce Vita", "Oyster Fish House", "Deniz" restaurants and others, both local and foreign Most of the restaurants serving national, European, Indian, and Chinese cuisine are located in Baku.

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the material and technical base of tourism in Azerbaijan reveals that the infrastructure of the tourism sector has undergone significant development, both historically and in the contemporary period. The findings indicate that the structural components of the tourism industry—accommodation facilities, transport systems, catering establishments, recreational zones, and service enterprises—play a complementary role in forming a sustainable and competitive tourism environment.

One of the key results is the diversification of accommodation facilities in the country. The classification of tourist accommodations into collective and individual types aligns with international standards established by the World Tourism Organization (WTO). Azerbaijan's accommodation network includes hotels, motels, tourist bases, sanatoriums, recreation centers, and private housing options. Historically, the emergence of caravanserais demonstrates the early existence of hospitality traditions, which later transformed into modern hotels such as "New Europe," "Metropol," "Inturist," and "Absheron." The present distribution of accommodation facilities also reflects the influence of different ownership structures, including municipal, foreign-invested, and privately owned establishments.

Transportation is another critical element of the material and technical base. The results show that road transport remains the most commonly used means for tourism mobility, supported by major transport corridors such as Baku–Ganja, Baku–Astara, and Baku–Khachmaz. Additionally, maritime passenger transportation in the Caspian Sea and the expansion of international air carriers operating in Azerbaijan contribute to the diversification of transport services. These developments suggest that enhanced mobility directly increases accessibility to tourist destinations, thus supporting tourism flow.

Catering and food establishments also form an essential part of the tourism infrastructure. The emergence of diverse restaurants representing national and international cuisine, particularly in Baku, reflects the growing cultural and economic integration of Azerbaijan's tourism industry. The establishment of the National Culinary Center in 1991 further strengthened institutional support for the sector. This diversification enhances the visitor experience by offering a wide range of gastronomic services.

Recreational and sanatorium facilities in regions such as Guba-Khachmaz, Lankaran-Astara, and Yalama-Khudat demonstrate the potential of natural landscapes and climatic conditions in supporting tourism development. The existence of large tourist bases, youth camps, and health resorts indicates that regional tourism infrastructure is adapting to the specific natural advantages of each area.

4. Conclusions

The material and technical base of tourism in Azerbaijan plays a decisive role in shaping the quality, scale, and sustainability of tourism services offered to domestic and international visitors. The analysis shows that the tourism infrastructure of the country has evolved significantly—from traditional caravanserais to modern hotels, resorts, transport networks, and multifunctional recreational centers—reflecting both historical continuity and contemporary economic priorities. The diversification of accommodation establishments, the development of transportation routes in all major directions, and the increase in catering and cultural service institutions have created favorable conditions for the growth of organized tourism.

Despite considerable progress, further strengthening of the material and technical base remains a key factor for improving service quality and enhancing the global competitiveness of Azerbaijan's tourism sector. This includes modernization of outdated facilities, expansion of international-standard accommodation options, improvement of transport logistics, and

development of new recreational areas based on the country's natural and cultural resources. Ensuring the alignment of infrastructure with tourist needs will lead to increased visitor satisfaction, higher economic returns, and the sustainable development of the tourism industry. Thus, continued investment and strategic planning in this field are essential for securing Azerbaijan's position as an attractive and rapidly developing tourism destination.

REFERENCES

1. Azərbaycan Respublikası Dövlət Turizm Agentliyi (2019–2024).
2. Əhmədov, E. (2018). *Azərbaycanın regional turizm inkişafı*. Bakı.
3. Əkbərov, Ə., & Məmmədov, İ. (2018). *Turizmin əsasları*. Bakı: BDU nəşriyyatı.
4. Cooper, C., Fletcher, J., Fyall, A., Gilbert, D., & Wanhill, S. (2008). *Tourism: Principles and Practice*. Pearson.
5. Goeldner, C. R., & Ritchie, J. R. B. (2012). *Tourism: Principles, Practices, Philosophies*. Wiley.
6. Hacıyev, B. (2021). *Turizmdə logistika və nəqliyyat xidmətləri*. Bakı: Qismət nəşriyyatı.
7. Həsənov, A. (2019). *Turizm coğrafiyası*. Bakı: Təhsil.
8. Holloway, C. (2019). *The Business of Tourism*. Pearson Education.
9. Məmmədov, Q. (2017). *Azərbaycan turizminin inkişaf istiqamətləri*. Bakı: ADNSU nəşriyyatı.
10. Mustafayev, Ş. (2020). *Turizm iqtisadiyyatı və idarəetməsi*. Bakı.
11. Nuriyev, Ə. (2016). *Azərbaycanın rekreasiya ehtiyatları və turizm imkanları*. Bakı.

URL TABANLI OLTALAMA TESPİTİNDE VERİ KALİTESİ: ALAN ADI YOĞUNLAŞMASI, DNS ÇÖZÜMLEME FARKLILIKLARI VE ZAMANSAL GEÇERLİLİK ÜZERİNE BİR VAKA ÇALIŞMASI

Hilassoun A. Roland SANOU
Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, Mersin Üniversitesi
ORCID:0009-0006-4840-134X
Çiğdem ACI
Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi
0000-0002-0028-9890

ÖZET

Bu çalışma, PhishTank bildirimlerinden ve Tranco alan adlarındaki sayfalardan oluşturulmuş, korunmuş 120.022 URL'lik bir koleksiyonu incelemektedir. Eşit sınıf sayılarının gizleyebileceği üç özellik ölçülmektedir: ana bilgisayar yoğunlaşması, sınıf bazında DNS kapsamı ve zaman damgalarının karşılaştırılabilirliği. Koleksiyon 60.012 oltalama ve iyi huylu olarak etiketlenmiş 60.010 URL içermektedir. On ana bilgisayar adı oltalama URL'lerinin yüzde 47,2'sini, bunlardan biri tek başına 5.976'sını oluştururken, hiçbir iyi huylu ana bilgisayar üçten fazla URL sağlamamaktadır; eşit ağırlıklı etkin ana bilgisayar sayısı oltalama tarafında yaklaşık 34,5, iyi huylu tarafta yaklaşık 20.126'dır. Başarılı bir A kaydı oltalama URL'lerinin yüzde 79,64'ü ve iyi huylu URL'lerin yüzde 99,95'i için mevcuttur; fark 20,31 yüzde puanıdır ve 6.902 nxdomain, 4.979 noanswer, 335 error ve 4 timeout sonucunun tamamı oltalama tarafındadır. Oltalama kayıtları tarihsel bir zaman damgası, PhishTank doğrulama ya da gönderim zamanını taşırken iyi huylu kayıtlar yalnızca anlık görüntünün tarihini taşımaktadır; bu nedenle hiçbir tarihsel ayrım iki sınıfa eşit davranamaz. Ayrıca her iki etiketi taşıyan ve toplam 13.346 URL'yi kapsayan 127 ana bilgisayar adı ile URL'ler küçük harfe çevrilip sorgu dizeleri kaldırıldığında 3.201 fazla satır bulunmuştur. Her sınıf farklı bir kaynaktan geldiği için bu karşıtlıkların hiçbiri oltalamanın kendisine ait bir özellik olarak okunamaz. Bu tür koleksiyonlar üzerindeki model sonuçlarının yanında ana bilgisayar yoğunlaşmasının ve sınıf bazında DNS kapsamının raporlanmasını, kronolojik değerlendirmeden önce ise iki sınıfın tek bir tarihli yordamla toplanmasını öneriyoruz. Çalışma betimseldir ve bir sınıflandırıcının bu farklılıklardan yararlanıp yararlanmadığını sınamamaktadır.

Anahtar kelimeler: oltalama veri kümeleri; veri kalitesi; alan adı yoğunlaşması; DNS çözümleme; zamansal değerlendirme

DATA QUALITY FOR URL-BASED PHISHING DETECTION: A CASE STUDY OF DOMAIN CONCENTRATION, DNS RESOLUTION DISPARITIES, AND TEMPORAL VALIDITY

ABSTRACT

A phishing dataset with equal numbers of phishing and benign URLs looks balanced, but the two halves may have been assembled under very different conditions. This paper takes one such dataset, a preserved collection of 120,022 URLs built from PhishTank reports and from pages found under Tranco-ranked domains, and measures three things that a class count does not reveal: how URLs are spread across hostnames, how often each class has a usable DNS answer, and what the timestamps actually record. The collection holds 60,012 phishing and 60,010 benign-labelled URLs. Ten hostnames account for 47.2% of the phishing URLs, and one of them alone for 5,976, whereas no benign hostname contributes more than three; the effective number of equally weighted hostnames is about 34.5 on the phishing side against roughly 20,126 on the benign side. A successful A record exists for 79.64% of phishing URLs and 99.95% of benign URLs, a gap of 20.31 percentage points, and nearly every unsuccessful outcome falls on the phishing side. We also find 127 hostnames carrying both labels, covering 13,346 URLs, and 3,201 surplus rows once URLs are lowercased and stripped of their query strings. Phishing records carry a historical timestamp, the PhishTank verification or submission time; benign records carry only the date of the snapshot, so no historical split can treat the two classes alike. Because each class comes from a different source, none of these contrasts can be read as a property of phishing itself. We suggest reporting hostname concentration and per-class DNS coverage next to any model result on this kind of collection, and collecting both classes under one dated procedure before attempting chronological evaluation. The study is descriptive and does not test whether a classifier exploits these differences.

Keywords: phishing datasets; data quality; domain concentration; DNS resolution; temporal evaluation.

1. INTRODUCTION

A detector is only as good as the examples it was trained and tested on, and a dataset can mislead in ways that no accuracy figure will show. The most common check, that the two classes are roughly equal in size, says nothing about whether they were collected the same way, cover the same period, or draw on the same number of distinct hosts. A model trained on such data may end up solving an easier problem than the one its authors intended, and the test set, built the same way, will not notice.

For graph-based detection the issue is sharper, because the graph is made of exactly the things that differ. URLs are connected through the hostnames they share and through the IP addresses and name servers those hostnames resolve to. If several thousand URLs sit under one hostname, they add rows to the table without adding hosting contexts to the graph. If one class resolves far more often than the other, the graph is denser on that side, and the mere presence or absence of a DNS answer becomes a clue about the label.

Time adds a third difficulty. A phishing report from several years ago and a page fetched last month from a popular site were not observed under comparable conditions, and a timestamp attached to each may record different events. Splitting such records "by date" presupposes that one knows what each date means. These are familiar warnings in the security literature (Arp et al., 2022; Pendlebury et al., 2019); the point of this paper is to see what they amount to on a concrete dataset.

These concerns also appear in dataset design. PhreshPhish combines chronological separation, similarity filtering and benchmarks at several phishing base rates (Dalton et al., 2026). Its design separates problems that a balanced class count leaves hidden. The broader practical gaps identified by PHILTER (Alam et al., 2026), and the deployment cautions of Sommer and Paxson (2010) in intrusion detection, motivate checking what a collection represents before interpreting model accuracy. Our contribution is a measured audit of one preserved collection, not a comparison with those benchmarks.

We therefore examine one preserved snapshot of 120,022 URLs and ask three questions. How evenly are the URLs of each class spread across hostnames? Does the share of URLs with a successful DNS resolution differ between classes? And do the available timestamps support a historical evaluation that treats both classes alike? The answers are descriptive; we relate them to experimental design but do not train a model.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Dataset and measurements

The snapshot is dated 16 August 2026. Its phishing half, 60,012 URLs, comes from PhishTank; its benign half, 60,010 URLs, was obtained by fetching pages under domains listed in the Tranco ranking (PhishTank, n.d.; Le Pochat et al., 2019). The benign label therefore records where a URL came from, not that anyone checked the page. This coupling between source and class runs through everything that follows: whenever the two classes differ, the difference may be due to phishing behaviour, to the two collection procedures, or to both, and the data alone cannot say which. The collection is balanced by construction and tells us nothing about how common phishing is in real traffic.

By "hostname" we mean the host part of the URL exactly as stored, including subdomains and literal IP addresses; we did not reduce hostnames to registrable domains. Two stored hostnames may thus belong to the same organisation or the same hosting platform, and a count of hostnames is neither a count of organisations nor a count of campaigns.

Concentration was measured per class. For each hostname we counted its URLs and its share of the class total, and we report the largest count, the combined share of the ten most frequent hostnames, and an effective diversity index, the reciprocal of the sum of squared shares. This is the order-two effective diversity measure described by Hill (1973), with hostnames taking the place of species. It is the number of equally frequent hostnames that would produce the same concentration; it is a summary of unevenness, not a count of independent hosts.

Exact duplicates were counted on the stored strings. As a separate diagnostic we lowercased each URL, removed its query string and any trailing slash, and counted the rows in excess of the number of distinct normalised strings. We use this only to flag near-identical addresses. RFC 3986 treats scheme and host case differently from other URL components (Berners-Lee et al., 2005, Section 6.2.2.1). Query parameters and path case can change what a URL points to, so a collision here is not a claim that two URLs lead to the same page.

For DNS we joined the URL table to the DNS table on the hostname. The DNS table has one row per stored hostname and every URL finds a match, so each URL inherits the single recorded status of its host. The counts below are therefore weighted by URL and describe how many addresses are exposed to a given outcome, not how many queries were made. All recorded statuses were kept, including the unsuccessful ones, and no missing timestamp was filled in.

The measurement record follows the distinction between dataset composition, collection process and intended use made by Gebru et al. (2021). A source timestamp, a retrieval timestamp and a label are separate fields with separate meanings. Keeping them separate is a

prerequisite for assessing historical use; recording them does not itself validate the labels or the sampling population.

2.2. Hostname concentration and URL similarity

The two classes are almost identical in size and very different in shape (Table 1). The phishing URLs sit on 10,801 hostnames, the benign URLs on 20,186; the overall total is 30,860 rather than 30,987 because 127 hostnames appear in both classes.

Table 1. Class balance and hostname concentration.

Measure	Phishing	Benign
URLs	60,012	60,010
Distinct hostnames	10,801	20,186
Median URLs per hostname	1	3
Maximum URLs per hostname	5,976	3
Share of the ten most frequent hostnames	47.2%	about 0.05%
Effective diversity index	34.5	about 20,126

Nearly half of all phishing URLs come from ten hostnames, and the largest of them alone supplies 5,976, about a tenth of the class. On the benign side the ceiling is three URLs per hostname, which is simply how the pages were sampled. The median of one URL per phishing hostname hides this: most phishing hosts appear once, but a handful appear thousands of times. Figure 1 shows the two cumulative curves on a logarithmic axis; the phishing curve passes 50% after about ten hostnames, the benign curve climbs almost linearly to the end.

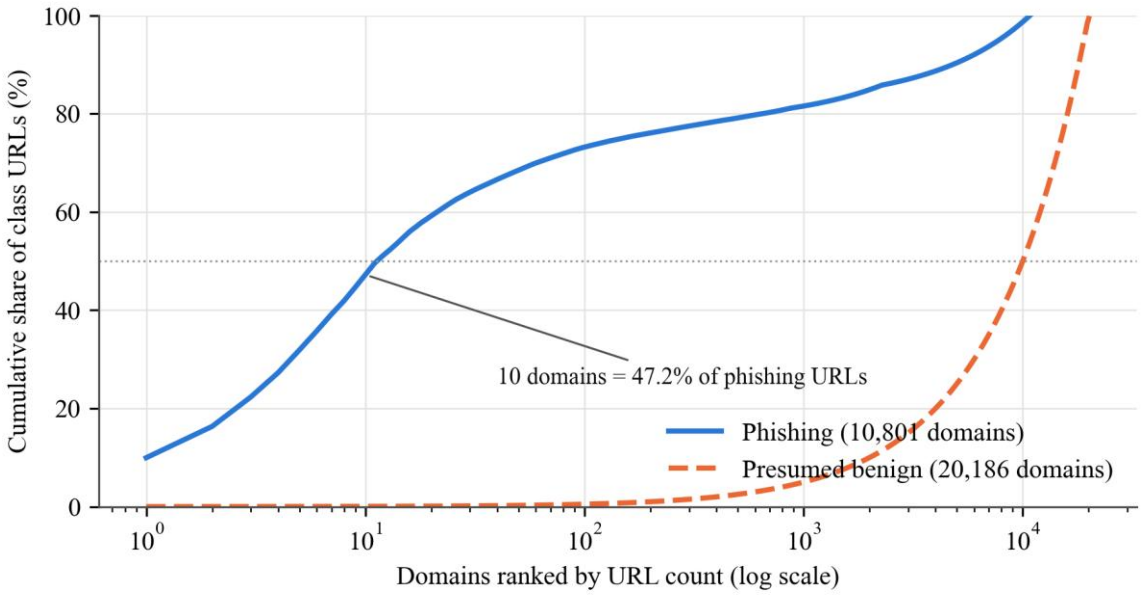


Figure 1. Cumulative share of each class's URLs covered by its hostnames, ranked by frequency.

The effective diversity index puts the same contrast in one number: about 34.5 for phishing against about 20,126 for benign. The phishing value does not mean that only 34 hosts are present, since 10,801 are; it means the URL weight is distributed as unevenly as it would be over 34 or 35 equal hosts. The practical consequence is that a random split by URL will almost certainly place URLs from the same large host, on both sides of the split. Hostname overlap does not establish campaign overlap, because campaign identifiers are unavailable.

There are no exact duplicate URLs in the collection. The diagnostic normalisation finds 3,201 surplus rows, 2.67% of the total, of which 2,941 are phishing and 260 benign. These are candidates for grouped handling when evaluation subsets are formed, nothing more. The 127 hostnames that carry both labels account for 13,346 URLs, 11.12% of the collection. A host with both labels may be a legitimate platform that also serves abusive pages, or a compromised site; either way, the label of a hostname cannot be assumed to transfer to every URL on it.

This distinction matters in relational detection. Kim et al. (2022) connect URLs through domains and infrastructure, and Magdziarz and Frąszczak (2026) review several kinds of graph used in phishing detection. Repeated rows can therefore share relational context without supplying independent evidence. The concentration index measures how unevenly that context is represented; it cannot determine which graph model benefits from it.

2.3. DNS resolution differs between the classes

Table 2 lists every A-record status after the hostname join. A successful answer exists for 47,792 phishing URLs and 59,980 benign URLs, that is for 79.64% and 99.95% of each class, a gap of 20.31 percentage points.

Table 2. Recorded DNS outcomes, weighted by URL count.

A-record status	Phishing URLs	Benign URLs
ok	47,792	59,980
nxdomain	6,902	0
noanswer	4,979	0
error	335	30
timeout	4	0
Total	60,012	60,010

Almost all of the unsuccessful outcomes are on the phishing side, and most of them are nxdomain or noanswer. The status names are the collector's. They should not be merged, because a name that does not exist, a name that exists without an A record, and a query that timed out are different situations; RFC 2308 draws the first distinction explicitly (Andrews, 1998). Figure 2 shows the same table as percentages of each class.

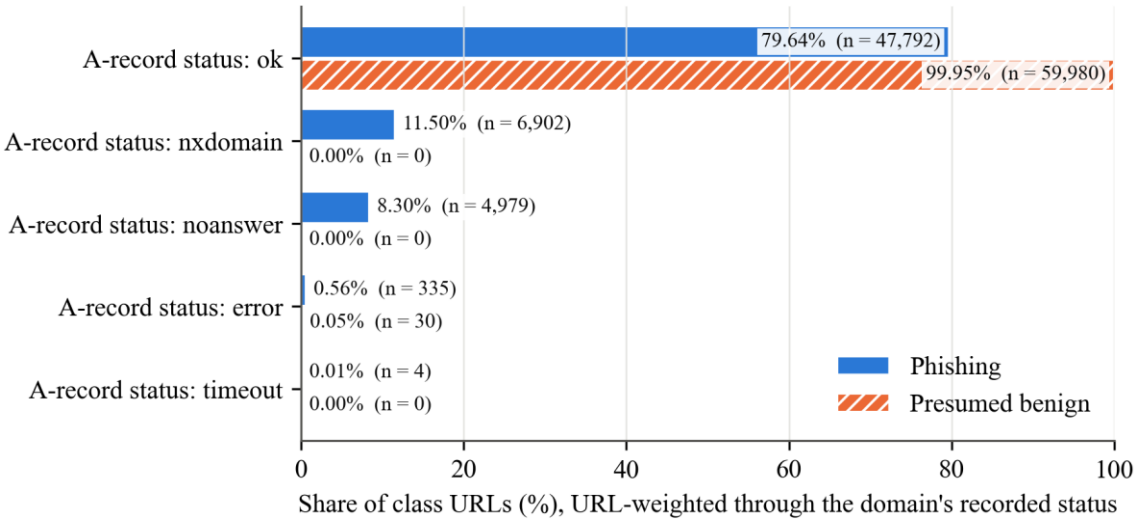


Figure 2. URL-weighted A-record outcomes in the phishing and benign classes.

For any model that uses DNS flags, or that builds a graph from resolved infrastructure, this asymmetry is a potential shortcut. In this collection, "no network information available" is itself a feature that points towards phishing. A model can learn that association without learning anything about relationships between hosts, and a standard test set, drawn from the same collection, would reward it for doing so.

The data do not tell us why the gap exists. Phishing reports accumulate over years and many of the sites they describe have since been taken down, while pages collected from a current popularity ranking were by construction reachable at collection time. The phishing life-cycle measurements of Oest et al. (2020) make the time between attack activity and later measurement relevant, but do not identify the cause of this DNS gap. Both mechanisms are plausible and they are not exclusive. Deciding whether a particular detector relies on availability would require evaluating it separately on URLs with and without a successful resolution, which this study does not do.

2.4. What the timestamps can and cannot support

Every phishing URL has a source timestamp, ranging from 19 February 2011 to 15 August 2026. The field holds PhishTank's verification time, or the submission time when no verification time was recorded. The benign URLs have no equivalent: their only date is the collection date of the snapshot, which identifies when the pages were fetched, not when they came into existence.

A historical split on the phishing timestamp therefore has nothing to split on the benign side. Assigning benign URLs to the same periods at random would manufacture a chronology that the data do not contain. The DNS answers raise a parallel point: a resolution performed in August 2026 describes the infrastructure at that moment, not at the time of a report from 2011 or 2019, so even the phishing side cannot be evaluated "as of" its report date with these features.

What the collection can support is a prospective design. If both classes are gathered under one procedure that records, for every URL, the time it was first observed and the time its DNS answer was obtained, then later cohorts can be used to measure performance on observations made after training. That measures something real, but something different from the lifetime of a page or its label at a past date, and the two should not be confused (Pendlebury et al., 2019).

2.5. Implications and limits

The three findings touch three different parts of an experiment. Hostname concentration bears on how the data should be split and on what a URL-level score means; it argues for reporting the overlap of hostnames between training and test sets and for checking how much of a result depends on the few largest hosts. The DNS gap bears on the features and the graph; it argues for reporting performance separately for URLs with and without a successful resolution, so that a reader can see whether availability is doing the work. The timestamp asymmetry bears on the evaluation protocol; it rules out a historical split on this collection and points to prospective collection instead.

A balanced evaluation also needs to state its class prevalence when reporting model results. Precision and precision-recall curves depend on the proportions of positive and negative examples, even when the class-conditional behaviour of a detector is unchanged (Davis & Goadrich, 2006; Saito & Rehmsmeier, 2015). This audit produces no such curves, because no detector is trained. It instead identifies conditions that subsequent experiments must state, including the definition of the positive class and whether an alert rate is being inferred for a different population.

Any corrective step changes the dataset and should be reported as such. Capping the number of URLs per hostname alters the class weights and the graph; restricting the data to resolvable hosts alters the population being evaluated. Both can be informative as additional analyses, provided the selection rule and the resulting counts are given alongside the main result.

The study has clear limits. It covers one snapshot in which source and class coincide. It does not identify campaigns, estimate the prevalence of phishing in deployment, or measure how much any model gains from the differences described. The DNS outcomes reflect one collector at one time. What the measurements do provide is a reproducible description of this dataset that anyone training on it can set beside their results.

3. CONCLUSION

A phishing dataset can be balanced to within two URLs and still be lopsided in every other respect. In the collection examined here, ten hostnames supply 47.2% of the phishing URLs, a successful A record is 20.31 percentage points more common on the benign side, and only the phishing class carries historical timestamps. None of these facts is visible from the class counts, and each of them affects what a model trained on the data can be said to have learned.

We therefore suggest that hostname overlap, per-class DNS coverage and a clear statement of what each timestamp records accompany any result reported on a collection of this kind. Measuring the data before measuring the model is not a large effort, and it is the only way to know what the model's score is a score of.

REFERENCES

Alam, M., Rahman, M. L., Paul, S. K., Hays, A. W., Hussain, A., Huq, M. I., & Saxena, N. (2026). SoK: PHILTER: Uncovering security and functional gaps in AI-based phishing website detection literature via an LLM-based reasoning framework. In *35th USENIX Security Symposium* (pp. 4981–5000). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity26/presentation/alam

Andrews, M. (1998). *Negative caching of DNS queries (DNS NCACHE)* (RFC 2308). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC2308

Arp, D., Quiring, E., Pendlebury, F., Warnecke, A., Pierazzi, F., Wressnegger, C., Cavallaro, L., & Rieck, K. (2022). Dos and don'ts of machine learning in computer security. In *31st USENIX Security Symposium* (pp. 3971–3988). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity22/presentation/arp

Berners-Lee, T., Fielding, R., & Masinter, L. (2005). *Uniform resource identifier (URI): Generic syntax* (RFC 3986). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC3986

Dalton, T., Gowda, H., Rao, G., Pargi, S., Hadj Khodabakhshi, A., Rombs, J., Jou, S., & Marwah, M. (2026). *PhreshPhish: A real-world, high-quality, large-scale phishing website dataset and benchmark* [Preprint, version 2]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2507.10854v2

Davis, J., & Goadrich, M. (2006). The relationship between precision-recall and ROC curves. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning* (pp. 233–240). ACM. https://doi.org/10.1145/1143844.1143874

Gebru, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daumé III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. *Communications of the ACM, 64*(12), 86–92. https://doi.org/10.1145/3458723

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology, 54*(2), 427–432. https://doi.org/10.2307/1934352

Kim, T., Park, N., Hong, J., & Kim, S.-W. (2022). Phishing URL detection: A network-based approach robust to evasion. In *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 1769–1782). ACM. https://doi.org/10.1145/3548606.3560615

Le Pochat, V., Van Goethem, T., Tajalizadehkhoob, S., Korczyński, M., & Joosen, W. (2019). *Tranco: A research-oriented top sites ranking hardened against manipulation*. Network and Distributed System Security Symposium. https://www.ndss-symposium.org/ndss-paper/tranco-a-research-oriented-top-sites-ranking-hardened-against-manipulation/

Magdziarz, K., & Frąszczak, D. (2026). A review of graph-theoretic approaches in phishing website detection. *Applied Sciences, 16*(19), Article 9576. https://doi.org/10.3390/app16199576

Oest, A., Zhang, P., Wardman, B., Nunes, E., Burgis, J., Zand, A., Thomas, K., Doupé, A., & Ahn, G.-J. (2020). Sunrise to sunset: Analyzing the end-to-end life cycle and effectiveness of phishing attacks at scale. In *29th USENIX Security Symposium* (pp. 361–377). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity20/presentation/oest-sunrise

Pendlebury, F., Pierazzi, F., Jordaney, R., Kinder, J., & Cavallaro, L. (2019). TESSERACT: Eliminating experimental bias in malware classification across space and time. In *28th USENIX Security Symposium* (pp. 729–746). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity19/presentation/pendlebury

PhishTank. (n.d.). *Developer information*. Retrieved October 21, 2026, from https://phishtank.org/developer_info.php

Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE, 10*(3), Article e0118432. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432

Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. In *2010 IEEE Symposium on Security and Privacy* (pp. 305–316). IEEE. https://doi.org/10.1109/SP.2010.25

ÇİZGE TABANLI OLTALAMA TESPİTİ: ZAMANSAL DEĞERLENDİRME VE EKSİK AĞ BİLGİLERİNE KARŞI DAYANIKLILIK ÜZERİNE ELEŞTİREL BİR DERLEME

Hilassoun A. Roland SANOU
Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, Mersin Üniversitesi
ORCID:0009-0006-4840-134X
Çiğdem ACI
Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi
0000-0002-0028-9890

ÖZET
Çizge tabanlı oltalama dedektörleri bir URL'yi tek başına değerlendirmez; onu bağlantı verdiği sayfalarla, HTML yapısıyla ya da arkasındaki alan adları, IP adresleri ve ad sunucularıyla ilişkilendirir. Bu ilişkilerin her biri kullanılmadan önce gözlemlenmek zorundadır ve her gözlemin bir tarihi vardır. Bu çalışma, 2022–2025 döneminde yayımlanan beş yöntemin değerlendirmesini karşılaştırmaktadır. İnceleme iki soruya odaklanmaktadır: eğitimden sonra toplanan gözlemlerdeki başarım ve gerekli sayfa ya da ağ bilgisi elde edilemediğinde ortaya çıkan davranış. Her makale girdileri, veri ayrımı ve zaman, değiştirilmiş girdi ya da eksik veriyle ilgili deneyleri açısından okunmuştur. Üç örüntü öne çıkmaktadır. Alınamayan sayfalar genellikle değerlendirmeden önce, bazen koleksiyonun büyük bölümü olacak biçimde çıkarılmaktadır; dolayısıyla bildirilen doğruluk, başarılı veri edinimine koşulludur. PhishDet, eski bir koleksiyonla eğitilen modeli her iki sınıfı içeren daha yeni bir koleksiyonda, yeniden eğitimden önce ve sonra sınamaktadır. Yoon ve arkadaşlarının ek dış testi ise yalnızca oltalama sayfalarını içerdiğinden yanlış pozitifleri ölçmemektedir. Var olan dayanıklılık deneyleri (Kim ve arkadaşlarında URL yeniden yazımı, Yoon ve arkadaşlarında gradyan bozulmaları ve özellik çıkarma) başarısız bir DNS sorgusundan ya da erişilemeyen bir sayfadan farklı bir soruyu yanıtlamaktadır. Buradan kısa bir değerlendirme yordamı türetilmektedir: her dış gözlemi tarihlendirmek, modelin görebileceği etiketleri belirtmek, bilgi geri çekilirken test kümesini sabit tutmak, aynı URL'ler üzerinde sözcüksel bir temel yöntemle karşılaştırmak ve duyarlılığı, yanlış pozitifleri ve edinim maliyetini birlikte raporlamak. Sonuçlar incelenen beş yöntemle sınırlıdır; alanın bir taraması değildir.
Anahtar kelimeler: oltalama tespiti; çizge öğrenme; zamansal değerlendirme; eksik ağ bilgileri; yanlış pozitifler

GRAPH-BASED PHISHING DETECTION: A CRITICAL REVIEW OF TEMPORAL EVALUATION AND ROBUSTNESS TO MISSING NETWORK INFORMATION

ABSTRACT
Graph-based phishing detectors do not look at a URL on its own. They relate it to the pages it links to, to its HTML structure, or to the domains, IP addresses and name servers behind it. Each relation has to be observed before it can be used, and every observation carries a date. This paper asks what the published evaluations of five such methods (PhishGNN, PhishDet, the network-based approach of Kim et al., the multimodal model of Yoon et al. and the belief-propagation method of Guo et al., published between 2022 and 2025) actually show about two properties that matter once a detector is deployed: performance on observations collected after training, and behaviour when the page or network information it relies on cannot be obtained.

We read each paper for its inputs, its data split and any experiment on time, altered inputs or missing data. Three patterns emerge. Pages that could not be retrieved are usually dropped before evaluation, sometimes most of the collection, so reported accuracy is conditional on successful acquisition. Only PhishDet explicitly evaluates an older-to-newer collection setting with both classes; Yoon et al. add an external phishing-only test, which cannot measure false positives. The robustness experiments that do exist, URL rewriting in Kim et al. and gradient perturbations or feature ablations in Yoon et al., answer a different question from a failed DNS lookup or an unreachable page. From this we derive a short evaluation procedure: date every external observation, state which labels the model may see, keep the test set fixed while information is withdrawn, compare against a lexical baseline on the same URLs, and report recall, false positives and acquisition cost together. The conclusions concern only the five methods examined.
Keywords: phishing detection; graph learning; temporal evaluation; missing network information; false positives.

1. INTRODUCTION

A phishing page imitates a service that people trust in order to collect their credentials. To decide whether an address is such a page, a detector can read the URL string, fetch and analyse the page, or look at what surrounds the address: the pages it links to, the domain it belongs to, the servers that resolve and host it. Graph-based methods are built on the third idea. They turn these surroundings into nodes and edges and let a model reason over them, on the assumption that an attacker who can freely write a URL or copy a login page has less control over the links that point to the page or over the infrastructure that serves it.

URL classification has a substantial history outside graph learning. Ma et al. (2009) combine lexical and host features, whereas URLNet learns character- and word-level representations directly from URL strings (Le et al., 2018). Other systems acquire visual evidence: Phishpedia compares logos in screenshots with brand references (Lin et al., 2021), and PhishIntention also interacts with pages to confirm credential-taking behaviour (Liu et al., 2022). These alternatives matter here because each requires different observations before producing a decision. Their reported scores cannot be ranked against graph methods without a shared test population and an explicit acquisition policy.

That assumption is reasonable, but it has a cost that is easy to overlook when reading a results table. Every edge in such a graph is the record of an observation made at some point in time by some collector. A hyperlink graph exists only for pages that answered when they were crawled. A DNS edge exists only if a query was made, returned an answer, and was kept. If the observation was never made, failed, or was made long after the URL was first reported, the graph the model sees in evaluation is not the graph a detector would have had at the moment the decision mattered.

Work on machine learning for security has shown how much data selection and experimental design can shape reported performance (Arp et al., 2022), and how evaluations that ignore time can overstate what a classifier will do on future samples (Pendlebury et al., 2019). Both concerns apply to phishing URLs, but with graph methods they apply twice: to the labelled URLs and to the relations that connect them.

The wider lesson is that a detector must be assessed in its intended operating context. Sommer and Paxson (2010) make this argument for intrusion detection; we apply that methodological caution to phishing rather than treating their results as phishing evidence. Dataset documentation supplies the corresponding record of provenance and intended use (Gebru et al.,

2021). Neither a model name nor a large dataset establishes that the information available during evaluation would exist during deployment.

We therefore went back to five recent papers and asked three questions of each. What information does the method need before it can score a URL? What does the reported evaluation establish about performance on observations collected later than the training data? And what evidence, if any, is offered about behaviour when part of the required network or page information is missing? The contribution is not a new detector or a ranking. It is a careful reading of how the way a graph is built limits what its evaluation can be taken to show, and a short procedure that follows from that reading.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Review approach

This is a narrative comparison, not a systematic review. We chose five method papers published between 2022 and 2025 so that the main kinds of graph used in phishing detection would each be represented: hyperlink graphs between websites (PhishGNN; Bilot et al., 2022), graph processing of HTML content (PhishDet; Ariyadasa et al., 2022), a network of URLs and infrastructure entities (Kim et al., 2022), an HTML DOM graph combined with URL features (Yoon et al., 2024), and belief propagation over URL and network relations (Guo et al., 2025). The sample is small by design and was selected for contrast in information requirements, not for representativeness of the literature.

For each paper we recorded the entities and relations in the graph, the inputs that have to be acquired, the way the data were split, and any experiment that touches on time, altered inputs or unavailable information. Where we could, we checked these points in the full text and give section numbers below. We tried to keep two things apart throughout: what an experiment reports, and what it does not cover. When a method is evaluated only on pages that were successfully retrieved, for instance, nothing is known about its behaviour on the pages that were not; this is a gap in the evidence, not a demonstrated failure of the method.

Two recent papers frame the broader picture. Magdziarz and Frąszczak (2026) review graph-theoretic phishing detection systematically and classify methods by the layer the graph models and by graph type. PHILTER (Alam et al., 2026) assesses 55 detection studies against functional and security requirements and finds that none meets all of them, with false alarms on diverse benign pages a recurring blind spot. Our question is narrower and sits underneath both: for a given representation, which observations have to exist, and when, for the reported result to mean what it appears to mean. Because the sample is small and qualitative, we make no pooled performance estimate.

2.2. Graph representations and their information requirements

The five methods use the word "graph" for quite different objects. PhishGNN crawls a page and its outgoing links to depth two and classifies the root from the resulting hyperlink graph, with lexical, content and domain features on the nodes (Bilot et al., 2022). PhishDet runs a recurrent convolutional network on the URL and a graph convolutional network on features derived from the HTML, then merges the two (Ariyadasa et al., 2022). Yoon et al. (2024) build a graph from the HTML DOM and combine it with character- and word-level URL representations. In all three, page content has to be fetched and processed before the content-derived graph can be constructed.

Kim et al. (2022) and Guo et al. (2025) work on the other side of the address. Both connect URLs to domains, domains to IP addresses and to authoritative name servers, and URLs to the substrings they share, and both infer labels with loopy belief propagation (Kim et al., 2022, Sections 4.2 and 4.3; Guo et al., 2025, Section III-A). Here nothing needs to be fetched from

the page, but the DNS answers must have been collected, and whatever they say reflects the moment of the query. Table 1 summarises the inputs.

Table 1. What each of the five methods needs before it can score a URL.

Study	Graph or relational evidence	Information that must be acquired
Bilot et al. (2022), PhishGNN	Hyperlink graph of the crawled website	The page and its linked pages, with their HTTP responses
Ariyadasa et al. (2022), PhishDet	Graph convolution over HTML features, URL branch	The URL and the retrieved HTML
Kim et al. (2022)	URL, domain, IP, name-server and substring network with belief propagation	URL components and the DNS records of the domain
Yoon et al. (2024)	HTML DOM graph with URL features	The parsed HTML and the address
Guo et al. (2025)	URL, domain, IP and name-server relations with belief propagation	URL features and the DNS records of the domain

The distinction between inductive and transductive learning concerns how a model handles nodes, not when their attributes were observed. GraphSAGE learns to aggregate features from a local neighbourhood and can generate representations for previously unseen nodes (Hamilton et al., 2017). That architectural capability does not make a present-day DNS observation valid for a past prediction. Node generalisation and temporal admissibility require separate checks.

Two consequences follow. First, the fair unit of comparison is the whole procedure, acquisition included. A page-based and a DNS-based detector classifying the same URL can fail to obtain completely different things, and an experiment that removes DNS edges says nothing about a crawler that times out. Second, an edge is a fact about an observation, not about intent. Two pages on the same hosting platform can carry different labels, and a phishing page often links to the genuine service it imitates. Both infrastructure methods handle this with mixed evidence rather than hard rules, which is sensible, but it means that connectivity alone should never be read as guilt by association.

2.3. What the evaluations show about later observations

Several dates attach to a phishing URL. A feed records when it was submitted and when it was verified; a researcher downloads it later; the page and the DNS records are measured later still, often in one batch. A chronological split on the feed date therefore does not guarantee that the features are chronological too. If a URL reported in January has its DNS looked up in August, a model "evaluated as of January" has been given August's infrastructure. Any claim about historical performance needs the dates of the external observations, not only of the records.

Chronological and domain-disjoint splits also answer different questions. One estimates performance on later observations; the other, generalisation to domains never seen in training. A campaign can straddle a time cutoff, so a chronological split does not by itself prevent the same hosts from appearing on both sides.

Against this background the five papers offer uneven evidence. PhishDet explicitly evaluates an older-to-newer collection setting with both classes: the model is trained on an older collection (Dataset A), tested on a newer one (Dataset B), retrained on the newer data, and

tested again, and the authors explicitly treat retraining as the answer to drift (Ariyadasa et al., 2022, Sections IV-C, IV-D and V). They also ran the detector for three days against fresh PhishTank reports as a zero-day test, detecting 27 of 28 attacks, and showed its F1 falling from 96.42% to 78.95% when the phishing-to-benign ratio was changed from 1:1 to 1:10 (Section IV-D). Differences between the two collections mean the change cannot be attributed to time alone, but the design does address the question. Kim et al. (2022, Section 6.1) use an 80:20 split; they note that only about 10% of their URLs carried timestamps, tried a chronological split on that subset, and left the results out because they resembled the random split. Guo et al. (2025, Section II) use five-fold cross-validation. Yoon et al. (2024, Section 4.8) test their trained model on 14,573 phishing pages from a separate public collection without fine-tuning and detect 95.5% of them; since that test contains no benign pages, it says nothing about false positives. PhishGNN's 70:30 split is drawn from a single crawl (Bilot et al., 2022, Section 4.3).

Two complementary sources put these checks into practice. Tranco was designed to improve the reproducibility and manipulation resistance of popularity rankings, not to certify the benign content of every page under a ranked domain (Le Pochat et al., 2019). PhreshPhish explicitly combines chronological partitioning with a similarity filter between training and test examples (Dalton et al., 2026, Sections 2.3 and 4.1). These choices address different dependencies; temporal separation alone does not establish that a later test example is unrelated to the training collection.

The same discipline about dates applies inside the pipeline. In a transductive setting the unlabelled test nodes may legitimately be visible, but their labels, and any feature measured after the simulated decision, may not. Vocabularies, normalisation constants and classifier priors should be fitted on the training portion unless access to the larger unlabelled collection is part of the scenario being evaluated. Thresholds, in particular, should never be tuned on the test labels.

2.4. Missing information and deliberate evasion are different tests

A DNS lookup can fail in several ways, and a dataset should keep them apart: the query was never made, it timed out, the name does not exist, or the name exists but has no record of the requested type. RFC 2308 distinguishes the last two as different negative answers (Andrews, 1998). Collapsing them into one "missing" flag throws away information and can hide the fact that one class fails much more often than the other. Old phishing reports describe infrastructure that has often been taken down, while a list of popular benign sites favours hosts that still answer; a model can learn that pattern instead of anything about relationships.

Phishing infrastructure also changes during an attack. Oest et al. (2020) track campaigns from deployment through victim visits and detection, demonstrating why collection time matters to the evidence a detector can obtain. Their measurements do not establish the cause of a failed DNS query in another dataset. Age-related loss, collector failure and deliberate evasion must still be distinguished in the evaluation at hand.

With that in mind, the robustness experiments in the five papers need to be read for the intervention they actually apply. Kim et al. (2022, Section 6.6) define seven evasion methods, M1 to M7, that rewrite the domain, the path, the query, or combinations of them, on 5 to 15% of the test phishing URLs, and show that their network-based model degrades less than a random forest. That is an evasion test. Yoon et al. (2024, Sections 4.5 and 4.9) remove feature branches in an ablation and add FGSM perturbations to the inputs, which take accuracy from 98.73% at no perturbation to 74.68% at $\varepsilon = 0.08$. Those are ablation and adversarial-noise tests. Neither measures what happens when a DNS record or a page simply is not there.

The acquisition failures themselves are mostly handled before evaluation. PhishGNN keeps only target websites answering with an HTTP status in the 200–299 range, which removed 85% of the crawled dataset, and then filters labels with Google Safe Browsing (Bilot et al., 2022, Section 4.2). Yoon et al. (2024, Section 4.1) collected 38,060 phishing URLs and could parse HTML for 14,912 of them, so the model was trained and tested on the 39% that were still reachable. Nothing in either paper is wrong about this; it is simply that the reported figures describe retained pages, and a deployed system will also meet the others. Table 2 summarises what each evaluation covers and where its reach ends.

Table 2. Evidence supplied by each evaluation and what it does not cover.

Study	Reported evaluation	What it leaves open
PhishGNN	70:30 split on pages with an HTTP 2xx response; 85% of the crawl removed first	Behaviour on pages that did not answer
PhishDet	Older and newer collections, before and after retraining; three-day zero-day test; 1:10 imbalance test	Behaviour when the HTML cannot be fetched
Kim et al. (2022)	80:20 split; seven URL-rewriting evasions on 5–15% of test phishing URLs	DNS failures; no chronological result (10% of URLs dated)
Yoon et al. (2024)	Ablations; 14,573 unseen phishing pages (95.5%); FGSM noise (98.73% to 74.68%)	False positives on the unseen set; the 61% of pages whose HTML could not be parsed
Guo et al. (2025)	Five-fold cross-validation on up to 306,354 URLs	Any later-period estimate; behaviour with missing DNS records

If one wants to test missing information directly, the experiment has to say what is being removed. Deleting a few edges, removing an IP node, or withholding every network fact about a domain are not the same input. The test URLs and their labels should stay fixed while the information given to the model changes, and reporting the resulting loss of connectivity alongside the nominal removal rate makes the severity of the intervention visible. Training with masked inputs can then be judged by comparing two otherwise identical models, one trained with masking and one without, on the same data; an improvement under one removal mechanism is evidence about that mechanism and nothing more.

2.5. Reading the performance figures

The practical question is whether the relational information buys better detection at a false-alarm and acquisition cost one can live with. F1 on its own cannot answer it. A model can keep its F1 while flagging many more benign pages, and in live traffic benign pages outnumber phishing pages by orders of magnitude, so a small false-positive rate becomes a large number of alerts. Recall and false-positive rate should be reported together, at a threshold chosen on validation data and then left alone, including when the model is re-run on perturbed or impoverished test inputs. Conventions matter as well: Guo et al. (2025, Section IV-B) define their metrics with the benign class as positive, so their 98.77% F1 is not directly comparable with a phishing-positive F1.

Precision-recall curves make the fraction of detected alerts that are correct visible, which is useful when phishing is rare (Davis & Goadrich, 2006; Saito & Rehmsmeier, 2015). They complement ROC analysis rather than replacing it: precision and PR-AUC depend on the evaluated class balance, so both the positive-class definition and that balance must be stated. PhreshPhish makes base rate an explicit benchmark dimension (Dalton et al., 2026). For the same reason, F1 from a balanced collection should not be interpreted as the expected precision of a live service.

A URL-string baseline, such as the representation studied by Le et al. (2018), run on exactly the same URLs is a useful control in a missing-information experiment, because its input does not change when network observations are withdrawn; with the model, threshold and other evaluation conditions held fixed, a change in the graph model's predictions can be attributed to the specified withdrawal. Cost should be reported with its boundaries. Fetching a page, querying DNS, building the graph and running the model are separate stages, and a latency figure that excludes acquisition describes a different system from an end-to-end one; PhishDet, for instance, reports an average detection time of 1.8 seconds per website (Ariyadasa et al., 2022, Section IV-D). Both kinds of figure are informative if the stages and hardware are stated.

Table 3 gathers these points into a recommended evaluation and reporting checklist. It is meant for comparing methods under a stated deployment scenario, not for ranking numbers obtained on unrelated datasets.

Table 3. Recommended evaluation and reporting checklist informed by the reviewed studies.

Evaluation step	What has to be specified
Define the decision	Prediction time, target population, labels the model may see
Build the eligible inputs	Dates of URL records, page retrievals and DNS observations
Split the data	Training, validation and test membership; hostname overlap across the split
Compare methods	Same URLs and labels; thresholds chosen on validation data
Test missing information	Unit of removal, observations affected, test population held fixed
Report	Precision, recall, false-positive count and rate, F1, uncertainty method, and time per processing stage

The limits of this reading should be stated plainly. Five papers cannot tell how common any of these gaps is across the field, and a gap in an evaluation is not evidence that the method would fail on the uncovered cases. What the comparison does show is which conclusions follow from which representation and observation process, and motivates the checklist in Table 3. Its recommendations have not been validated as a complete evaluation protocol.

3. CONCLUSION

The three questions receive answers of unequal strength. On information requirements the picture is clear: hyperlink and DOM methods need retrieved pages, infrastructure methods need

DNS records, and both kinds of input are routinely unavailable in practice. On later observations the evidence is thin: PhishDet explicitly tests an older-to-newer collection setting with both classes and retraining. Yoon et al. add an external phishing-only set, which cannot establish the false-positive rate on later benign pages. On missing information the evidence is indirect: the experiments reported test rewritten URLs, removed feature branches or adversarial noise, while unreachable pages are mostly filtered out before evaluation begins, in one case removing 85% of the crawl and in another 61% of the phishing pages.

A defensible evaluation therefore has to date the inputs of the graph, say which labels the model may see, and hold the test set fixed while information is withdrawn. Reporting recall, false positives and acquisition cost side by side then lets a reader judge what the relational evidence is worth. These conclusions concern the five methods examined; they do not measure how widespread the gaps are, and they do not imply that the methods would fail on the cases their evaluations leave open.

REFERENCES

Alam, M., Rahman, M. L., Paul, S. K., Hays, A. W., Hussain, A., Huq, M. I., & Saxena, N. (2026). SoK: PHILTER: Uncovering security and functional gaps in AI-based phishing website detection literature via an LLM-based reasoning framework. In *35th USENIX Security Symposium* (pp. 4981–5000). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity26/presentation/alam

Andrews, M. (1998). *Negative caching of DNS queries (DNS NCACHE)* (RFC 2308). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC2308

Ariyadasa, S., Fernando, S., & Fernando, S. (2022). Combining long-term recurrent convolutional and graph convolutional networks to detect phishing sites using URL and HTML. *IEEE Access*, *10*, 82355–82375. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3196018

Arp, D., Quiring, E., Pendlebury, F., Warnecke, A., Pierazzi, F., Wressnegger, C., Cavallaro, L., & Rieck, K. (2022). Dos and don'ts of machine learning in computer security. In *31st USENIX Security Symposium* (pp. 3971–3988). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity22/presentation/arp

Bilot, T., Geis, G., & Hammi, B. (2022). PhishGNN: A phishing website detection framework using graph neural networks. In *Proceedings of the 19th International Conference on Security and Cryptography* (pp. 428–435). SCITEPRESS. https://doi.org/10.5220/0011328600003283

Dalton, T., Gowda, H., Rao, G., Pargi, S., Hadj Khodabakhshi, A., Rombs, J., Jou, S., & Marwah, M. (2026). *PhreshPhish: A real-world, high-quality, large-scale phishing website dataset and benchmark* [Preprint, version 2]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2507.10854v2

Davis, J., & Goadrich, M. (2006). The relationship between precision-recall and ROC curves. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning* (pp. 233–240). ACM. https://doi.org/10.1145/1143844.1143874

Gebru, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daumé III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. *Communications of the ACM*, *64*(12), 86–92. https://doi.org/10.1145/3458723

Guo, W., Wang, Q., Yue, H., Sun, H., & Hu, R. Q. (2025). *Efficient phishing URL detection using graph-based machine learning and loopy belief propagation* [Preprint]. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.06912

Hamilton, W. L., Ying, R., & Leskovec, J. (2017). Inductive representation learning on large graphs. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, *30*. https://papers.nips.cc/paper/6703-inductive-representation-learning-on-large-graphs

Kim, T., Park, N., Hong, J., & Kim, S.-W. (2022). Phishing URL detection: A network-based approach robust to evasion. In *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 1769–1782). ACM. https://doi.org/10.1145/3548606.3560615

Le, H., Pham, Q., Sahoo, D., & Hoi, S. C. H. (2018). *URLNet: Learning a URL representation with deep learning for malicious URL detection* [Preprint]. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.03162

Le Pochat, V., Van Goethem, T., Tajalizadehkhoob, S., Korczyński, M., & Joosen, W. (2019). *Tranco: A research-oriented top sites ranking hardened against manipulation*. Network and Distributed System Security Symposium. https://www.ndss-symposium.org/ndss-paper/tranco-a-research-oriented-top-sites-ranking-hardened-against-manipulation/

Lin, Y., Liu, R., Divakaran, D. M., Ng, J. Y., Chan, Q. Z., Lu, Y., Si, Y., Zhang, F., & Dong, J. S. (2021). Phishpedia: A hybrid deep learning based approach to visually identify phishing webpages. In *30th USENIX Security Symposium* (pp. 3793–3810). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity21/presentation/lin

Liu, R., Lin, Y., Yang, X., Ng, S. H., Divakaran, D. M., & Dong, J. S. (2022). Inferring phishing intention via webpage appearance and dynamics: A deep vision based approach. In *31st USENIX Security Symposium* (pp. 1633–1650). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity22/presentation/liu-ruofan

Ma, J., Saul, L. K., Savage, S., & Voelker, G. M. (2009). Beyond blacklists: Learning to detect malicious web sites from suspicious URLs. In *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 1245–1254). ACM. https://doi.org/10.1145/1557019.1557153

Magdziarz, K., & Frąszczak, D. (2026). A review of graph-theoretic approaches in phishing website detection. *Applied Sciences, 16*(19), Article 9576. https://doi.org/10.3390/app16199576

Oest, A., Zhang, P., Wardman, B., Nunes, E., Burgis, J., Zand, A., Thomas, K., Doupé, A., & Ahn, G.-J. (2020). Sunrise to sunset: Analyzing the end-to-end life cycle and effectiveness of phishing attacks at scale. In *29th USENIX Security Symposium* (pp. 361–377). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity20/presentation/oest-sunrise

Pendlebury, F., Pierazzi, F., Jordaney, R., Kinder, J., & Cavallaro, L. (2019). TESSERACT: Eliminating experimental bias in malware classification across space and time. In *28th USENIX Security Symposium* (pp. 729–746). USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity19/presentation/pendlebury

Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE, 10*(3), Article e0118432. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432

Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. In *2010 IEEE Symposium on Security and Privacy* (pp. 305–316). IEEE. https://doi.org/10.1109/SP.2010.25

Yoon, J.-H., Buu, S.-J., & Kim, H.-J. (2024). Phishing webpage detection via multi-modal integration of HTML DOM graphs and URL features based on graph convolutional and transformer networks. *Electronics, 13*(16), Article 3344. https://doi.org/10.3390/electronics13163344

EVALUATION OF UNJUST ENRICHMENT THROUGH THE EXAMPLE OF ANTALYA FROM THE PERSPECTIVE OF INTERNATIONAL AND COMPARATIVE LAW

Muratcan IŞILDAK
International Balkan University , Institute of Law, Department of Balkan Studies , Üsküp
ORCID:0000-0002- 8156-4371
Fatmagül Köksal
Institute of Law, Department of Law

Abstract

In Turkey, especially in historic and touristic cities like Antalya, urban transformation projects often clash with cultural heritage protection. This conflict becomes evident when property owners lose their building rights because an area is declared a protected site, but later the same area is opened to high-density construction. This creates significant planning gains and development profits, which remain with municipalities and contractors instead of the original owners.

This paper analyzes the issue through the concept of unjust enrichment within international law of obligations and comparative law. It examines relevant principles in UNIDROIT PICC, PECL, DCFR, as well as Swiss, German, French, and Turkish law. The study argues that when the original purpose of protection (cultural heritage) disappears in practice, the legal basis fails (failure of consideration). Therefore, municipalities should return the planning gain to property owners.

Keywords: Urban transformation, cultural heritage protection, Antalya, Turkey, property rights, planning gain, development profit, unjust enrichment, international law of obligations, UNIDROIT PICC, PECL, DCFR, comparative law, Swiss law, German law, French law, Turkish law, failure of consideration, restitution, municipalities, zoning changes

Introdaction

The neighborhoods of Kaleiçi, Balbey, Haşimişcan, and Tuzcular in Antalya's Muratpaşa district have a very special history. These areas were registered as urban and archaeological protected sites back in 1972. The main purpose of this decision was to protect cultural heritage and preserve the historical identity of the city. Under Law No. 2863, strict rules were introduced, and construction in these neighborhoods became almost impossible. Property owners were not allowed to build new structures or make major changes. As a result, the economic use of these properties was reduced to almost zero. People who owned land or houses in these areas could not develop them, sell them for a good price, or use them for profitable purposes. For many years, this situation continued, and property owners accepted it because they believed it was necessary to protect history.

However, things started to change after 2018. The same neighborhoods that were once protected were suddenly declared "risk areas" under Law No. 6306. This law was created for urban transformation projects, and it allowed high building coefficients, such as 2.00–2.50. In simple terms, this meant that new buildings could be much taller and bigger than before. This was a complete shift from the previous rules. At first, the municipality promised property owners that they would have "transformation on the same plot with the same square metres." In other words, they said that owners would keep their land and receive new apartments of the same size on the same spot. This sounded fair and gave hope to many people who had been waiting for years to use their property.

Unfortunately, the promises did not last. Later, the municipality changed its offer. Instead of giving owners apartments on their own land, they offered smaller flats in completely different locations, such as Kepez or Varsak. On top of that, they asked for extra payment from the owners. This was shocking for many people because it was very different from what they were told at the beginning. When property owners refused these new conditions, the municipality started to use pressure. They even threatened "urgent expropriation," which means taking the property quickly for public use. This created fear and frustration among the owners.

This situation is a clear example of unjust enrichment. First, the municipality becomes richer because the building rights in these areas have increased dramatically. With higher building coefficients, the land value rises, and the municipality gains billions of lira from this change. Second, the property owners become poorer. They first lost their building rights for decades under the protection law, and now they do not get any share of the profit from the new development. Third, the legal reason for the enrichment, which was protecting cultural heritage, has completely disappeared. The original purpose was to preserve history, but now the same areas are being opened for large-scale construction projects. This shows a big contradiction and raises serious questions about fairness and justice.

I. Chronological and Legal Analysis of the Case

The neighborhoods of Kaleiçi, Balbey, Haşimişcan, and Tuzcular in Antalya's Muratpaşa district have undergone significant legal and planning changes over the past five decades. These changes reveal a complex interplay between cultural heritage protection and urban development policies.

1.1. First Stage: Declaration as Protected Site and Restriction of Property Rights

Between 1972 and 1995, the neighborhoods were classified as 1st and 3rd degree urban protected sites. This classification was meant to preserve the historical and cultural value of the area, but it also brought very strict limitations. In the conservation plan, the building coefficient was reduced to only 0.30–0.50, which made any new construction almost impossible. For decades, property owners faced serious restrictions. They could not build new houses, expand their properties, or even make basic repairs without going through complicated legal procedures. As a result, many buildings became old and damaged over time, and the owners had no practical way to improve them. This situation created frustration because while the goal was to protect heritage, the people living there had to deal with deteriorating conditions for 30 to 40 years.

1.2. Second Stage: Opening the Same Area to High-Density Construction under Urban Renewal

The second stage began with a major legal change in 2018. On April 3, 2018, a Cabinet Decision declared the same neighborhoods as a "risk area," and this was officially published in the Official Gazette on April 14, 2018 (No. 30391). This decision marked a complete shift from cultural heritage protection to urban renewal. Under this new status, the municipality gained the authority to implement large-scale transformation projects. In the following years, Antalya Metropolitan Municipality prepared new zoning plans that dramatically increased the building coefficient to 2.00–2.50, as approved by the Municipal Council on July 12, 2022 (Decision No. 612). This change allowed high-density construction, which was impossible under the previous conservation rules. After these plans were finalized, revenue-sharing contracts were signed with major construction companies such as Sur Yapı and Tosunlar İnşaat. These agreements opened the door for profitable redevelopment projects, creating a sharp contrast with the decades of restrictions that property owners had faced. While the municipality and contractors stood to

gain significant financial benefits, many local residents felt excluded from this process, leading to growing debates about fairness and justice.

1.3. Third Stage: Offers to Owners and Threat of Urgent Expropriation

The third stage of the process focused on negotiations with property owners, but it quickly became controversial. In the first meetings, the municipality promised owners that they would receive new apartments in the same place and with the same square metres as their current property. This gave hope to many residents who had waited for years to see improvements. However, these promises did not last. Later, the municipality changed its offer and proposed smaller flats located in distant districts such as Kepez or Varsak. In addition, they asked owners to pay extra money to cover the cost difference. This sudden change created disappointment and anger among the property owners. When many of them refused these new conditions, the municipality began to use pressure tactics. One of the most serious threats was “urgent expropriation,” based on Article 27 of the Expropriation Law No. 2942. This meant that the municipality could take the property quickly for public use, leaving owners with little choice. These actions raised strong concerns about fairness and legality, as the process seemed to benefit the municipality and contractors while ignoring the rights of the original property owners.

II. COLLECTIVE ORGANISATION OF PROPERTY OWNERS IN ANTALYA AND STRATEGIC DECISIONS OF ASSOCIATIONS

In response to the rapid changes in urban planning and the pressure from municipalities, property owners in Antalya began to organize collectively. This organization was mainly driven by the need to protect their rights and to have a stronger voice in negotiations. Individual owners often felt powerless against large institutions and construction companies, especially when faced with threats of urgent expropriation. By forming associations, they aimed to create a legal and social platform where they could share information, coordinate actions, and develop strategies.

These associations focused on several strategic decisions. First, they worked to raise awareness among property owners about their legal rights under laws such as the Expropriation Law No. 2942 and the Urban Transformation Law No. 6306. Many owners were not fully informed about the implications of these laws, so education became a key priority. Second, the associations tried to negotiate collectively with the municipality and contractors. Acting as a group gave them more bargaining power compared to individual negotiations. Third, they explored legal remedies, including filing lawsuits to challenge decisions that they considered unfair or unlawful. Some associations also engaged in public campaigns and media outreach to draw attention to the issue and gain public support.

Overall, the collective organization of property owners in Antalya represents an important example of how citizens respond to urban transformation policies. It shows that when faced with economic and legal disadvantages, people often turn to solidarity and collective action as a way to defend their interests and demand justice.

2.1. Established Associations and Platforms

Associations and Platforms in Antalya

Association / Platform	Date Founded	Members (2025)	Main Purpose (summary)
Balbey Protected Site Property Owners Association	17.10.2020	382	Protect property rights and ensure fair sharing of planning gain
Kaleiçi and Surroundings Preservation Association	12.03.2019	257	Balance heritage protection with property rights
Antalya Urban Renewal Victims Solidarity Platform	05.05.2022	1,240+	Fight against misuse of Law No. 6306 in protected sites

This table shows three important associations and platforms that were established in Antalya to protect property owners' rights during urban renewal projects. The first one, **Balbey Protected Site Property Owners Association**, was founded in 2020 and has 382 members. Its main goal is to make sure property owners get a fair share of the planning gains. The second, **Kaleiçi and Surroundings Preservation Association**, started in 2019 with 257 members. It focuses on finding a balance between protecting cultural heritage and respecting property rights. The third and largest group is the **Antalya Urban Renewal Victims Solidarity Platform**, founded in 2022, with more than 1,240 members. This platform fights against the misuse of Law No. 6306 in areas that were originally protected.

Overall, these associations show how property owners came together to defend their interests and respond to changes in urban planning. They aim to create fairness, prevent injustice, and protect both heritage and ownership rights.

2.2. Most Important Decisions of the Associations

These associations did not just organize; they also took important strategic steps to defend property owners 'rights. The **Balbey Protected Site Property Owners Association** decided that members should not sign individual agreements with the municipality. Instead, they hired a common lawyer to handle unjust enrichment cases, financed expert reports to support their claims, and even prepared to apply to the European Court of Human Rights (ECtHR) with 47 members. This shows a strong legal and international approach.

The **Kaleiçi and Surroundings Preservation Association** focused on scientific evidence. They financed a detailed report from Akdeniz University, which proved that the municipality's technical justifications for urban renewal were invalid. This strategy aimed to challenge the project on academic and legal grounds.

Finally, the **Antalya Urban Renewal Victims Solidarity Platform** took a more public and collective approach. They collected over 42,000 signatures to show strong social opposition and decided in January 2025 to file a collective unjust enrichment lawsuit. This demonstrates how large-scale solidarity can turn into legal action.

Overall, these decisions reflect different strategies (legal, scientific, and social) but all share the same goal: protecting property rights and ensuring fairness in urban transformation.

2.3. Important Lawsuits Filed (as of November 2025)

Legal Cases Related to Urban Renewal in Antalya

Type of Case	Example File No.	Court	Status (2025)
Cancellation of plan + stay of execution	2022/845	Antalya 3rd Administrative Court	Stay granted (Balbey Stage 1)
Unjust enrichment (180 persons)	2024/127	Antalya 4th Civil Court	Ongoing, claim ≈ 1.2 billion TL
Determination and cancellation of expropriation price	2023/342	Antalya 5th Civil Court	Partially accepted (price increased 180%)
Objection to Conservation Board decision	2023/118	Antalya 1st Administrative Court	Decision cancelled

This table shows different types of lawsuits filed by property owners and associations in Antalya against urban renewal decisions. The first case is about the **cancellation of the plan and stay of execution** (File No. 2022/845), where the Antalya 3rd Administrative Court granted a stay, meaning the project was temporarily stopped during Balbey Stage 1. The second case is an **unjust enrichment lawsuit** involving 180 people (File No. 2024/127) at the Antalya 4th Civil Court. This case is still ongoing, and the claim is very large (around 1.2 billion TL) because owners argue they lost their rights while the municipality gained huge profits. The third case concerns the **determination and cancellation of expropriation price** (File No. 2023/342), where the Antalya 5th Civil Court partially accepted the claim and increased the price by 180%, showing that the original compensation was unfair. Finally, there is an **objection to a Conservation Board decision** (File No. 2023/118), which was successful because the Antalya 1st Administrative Court cancelled the decision.

Overall, these cases show that property owners are using legal channels to fight against unfair practices in urban renewal. They are challenging plans, compensation amounts, and administrative decisions to protect their rights and seek justice.

2.4. Importance of Collective Action for Unjust Enrichment Claims

Collective action played a very important role in the fight against unjust enrichment in Antalya. When property owners acted together instead of individually, they were able to reduce legal costs significantly. Hiring one lawyer for many members and sharing expenses made the process affordable for everyone. Another big advantage was the ability to produce strong evidence. For example, the associations financed an independent expert report that showed a dramatic increase in land value from 4,500 TL per square metre to 48,000 TL per square metre after the new plans. This evidence clearly demonstrated how much profit was created by changing the building coefficients. In addition, collective action helped gather written proof that the municipality had originally promised "conservation-oriented renewal." This promise was later ignored, but having it documented strengthened the owners 'legal position. Overall, acting together gave property owners more power, better resources, and stronger arguments. It turned individual complaints into a coordinated legal strategy, making it possible to challenge unfair practices effectively.

III. UNJUST ENRICHMENT IN INTERNATIONAL AND COMPARATIVE LAW

Unjust enrichment is not only a concept in Turkish law but also an important principle in many legal systems around the world. In international and comparative law, it is generally understood as a situation where one party gains a benefit at the expense of another without a valid legal reason. Most countries recognize that this kind of enrichment is unfair and provide legal remedies to restore balance. For example, in European civil law systems such as Germany and France, unjust enrichment is treated as a separate legal claim, and the enriched party must return the benefit or compensate the other party. Similarly, in common law countries like the United Kingdom and the United States, courts apply the principle of "restitution" to prevent unjust enrichment, often requiring the return of money or property obtained without justification. Internationally, the principle is also reflected in documents like the UNIDROIT Principles of International Commercial Contracts, which emphasize fairness and prohibit unjust gains in contractual relationships. Comparative studies show that while the details differ (such as calculation methods or time limits) the core idea is the same: no one should profit unfairly at another's expense. This makes unjust enrichment a universal principle of justice, relevant not only in private law but also in public law cases, including urban renewal projects where governments or municipalities gain large financial benefits while property owners lose their rights.

3.1. General Elements (all modern systems)

In almost all modern legal systems, unjust enrichment is based on three main elements. The first element is **enrichment of one party**, which means that someone gains a financial or material benefit. This could be extra money, property, or any advantage that increases their wealth. The second element is **impoverishment of the other party**, meaning that another person loses something or suffers a disadvantage because of that enrichment. For example, if a municipality gains huge profits from new building rights while property owners lose their development rights, this creates an imbalance. The third element is the **absence of a legal ground or the later failure of the original ground**. This means there is no valid legal reason for the enrichment, or the reason that once existed (such as heritage protection) no longer applies. When these three conditions come together, the situation is considered unjust enrichment, and most legal systems allow the disadvantaged party to claim compensation.

3.2. International Instruments

International legal instruments also recognize the principle of unjust enrichment and provide clear rules for restitution when the legal basis for a benefit disappears. For example,

UNIDROIT Principles of International Commercial Contracts (PICC) 2016, Article 7.5.2(b) states that restitution must be made when the purpose of the contract has failed or no longer exists. This means that if the reason for transferring a benefit disappears, the party who received it must return it. Similarly, the **Principles of European Contract Law (PECL), Article 9:101(2)** explains that enrichment is unjust if the legal ground has ceased to exist. In other words, even if the enrichment was initially lawful, it becomes unjust once the justification ends. The **Draft Common Frame of Reference (DCFR), Article III.–5:103(2)** also imposes a duty to return benefits when the basis later disappears. These provisions show that modern international instruments share the same logic: no one should keep a benefit without a valid legal reason, and if that reason fails, restitution is required.

3.3. National Laws – Comparison

National Laws – Comparison

System	Relevant Articles	Later Failure of Basis
Turkish Code of Obligations	Arts. 77–82, especially Art. 78(2)	Expressly regulated
Swiss CO	Arts. 62–67	Exists
German BGB	§§ 812–822	Exists (Wegfall der Bereicherungsgrund)
French Civil Code	Arts. 1303, 1352-1 (2016 reform)	Enrichissement sans cause
English Common Law	Woolwich, Lipkin Gorman, etc.	Exists (total failure of consideration)

Article 78(2) of the Turkish Code of Obligations states:
"If it later turns out that the enrichment had no valid legal basis or if the basis later disappears, the duty to return arises."

This provision directly applies to the situation in Antalya. Initially, the legal basis for restricting property rights was the protection of cultural heritage under Law No. 2863. Owners accepted severe limitations for decades because the purpose was to preserve historical areas. However, after 2018, this basis disappeared when the same neighborhoods were declared "risk areas" and opened to high-density construction under Law No. 6306. The municipality gained enormous financial benefits from increased building coefficients (2.00–2.50), while property owners received nothing. Since the original justification (heritage protection) no longer exists, the enrichment of the municipality has no valid legal ground. According to Article 78(2), this creates a clear obligation to return or compensate, which is the essence of unjust enrichment claims.

IV. APPLICATION OF UNJUST ENRICHMENT ELEMENTS TO THE ANTALYA CASE

The Antalya case is a clear example of unjust enrichment when we apply the three main elements. First, there is **enrichment**. After the urban renewal plans were introduced, the

municipality created extra building rights—about **120,000 square metres in Balbey alone**. This change allowed high-density construction and generated billions of lira for the municipality and contractors. The financial gain is obvious and very large compared to the previous situation.

Second, there is **impoverishment**. Property owners lost their former building rights that they had under the conservation plan. For decades, they could not use their land effectively, and when the renewal project started, they were promised "same place, same square metres." Later, this promise was broken. Owners were offered smaller flats in distant areas and asked to pay extra money. This means they did not get an equal share of the new value and ended up in a worse economic position.

Finally, the third element is the **absence of legal ground or later failure of the original basis**. The only reason for declaring these neighborhoods as protected sites was cultural heritage preservation. People accepted restrictions for years because they believed it was necessary to protect history. However, when the municipality allowed high-rise concrete buildings, this purpose disappeared. The legal basis for the restrictions no longer exists, which makes the enrichment unjust according to Article 78(2) of the Turkish Code of Obligations.

4.1. Enrichment

Extra 120,000 m² building rights created in Balbey alone → billions of lira for the municipality and contractors.

4.2. Impoverishment

Loss of former building rights + inability to receive the same size and location in the new project.

4.3. Absence of Legal Ground – Later Failure

The only purpose of the site decision was cultural heritage protection → high-rise concrete buildings removed that purpose → the legal basis has disappeared.

V. RELEVANT COURT DECISIONS

Turkish Court of Cassation 3rd Civil Chamber, 14.03.2022, E.2020/6454 K.2022/2341: "When building rights restricted by a protected site decision are later opened to high-density construction in the same area, unjust enrichment arises." ECtHR: Broniowski v. Poland (2004) and Loizidou v. Turkey (1996) → the State cannot keep planning gain that belongs to citizens and cannot restrict property rights disproportionately for decades.

VI. POLICY RECOMMENDATIONS

1. Amend Law No. 6306: at least 50 % of planning gain in protected sites must go to original owners.
2. Create a restoration support fund (Kyoto model).
3. Establish an independent valuation commission.
4. Make owner participation in planning compulsory (UN-Habitat principles).

CONCLUSION

The events that took place in Antalya clearly illustrate the doctrine of unjust enrichment, which is one of the most fundamental principles of international law of obligations. At first, property owners suffered a significant loss of value due to the restrictions imposed on protected sites, leaving them with almost no opportunity to generate economic benefit. Later, however, when the same area was opened to high-density construction, the municipality and contractors gained enormous profits—profits that no longer have a valid legal basis.

According to UNIDROIT PICC Art. 7.5.2, PECL Art. 9:101, DCFR III.–5:103, and Turkish Code of Obligations Art. 78(2), such planning gains must be fairly returned to the property owners. The legal system does not permit one party to enrich itself unjustly at the expense of

another. The Antalya case should not be seen as an isolated incident. It has the potential to serve as a precedent for many similar urban transformation projects across Turkey. In particular, the situations in Sulukule (Istanbul), Tarlabaşı (Istanbul), Hamamönü (Ankara), and Suriçi (Diyarbakır) reveal comparable patterns of property owner losses and disproportionate profits for public authorities and contractors. The reasoning applied in Antalya can therefore shed light on these cases as well.

In conclusion, this example demonstrates that urban planning and redevelopment projects must be carried out not only with economic considerations in mind but also within the framework of justice, fairness, and the protection of property rights. Otherwise, public trust is undermined and the legal order loses its credibility. From a student's perspective, I believe such cases should be discussed in academic settings, as they provide valuable lessons for future legal practice and policymaking.

Bibliography

1. *Law No. 6306 on the Transformation of Areas under Disaster Risk, Official Gazette: 31.05.2012, No. 28309.*
2. *Law No. 2863 on the Protection of Cultural and Natural Heritage.*
3. *Turkish Code of Obligations (Law No. 6098), Official Gazette: 04.02.2011.*
4. *UNIDROIT Principles of International Commercial Contracts 2016, International Institute for the Unification of Private Law (UNIDROIT), Rome 2016.*
5. *Principles of European Contract Law (PECL), Parts I and II, Prepared by the Commission on European Contract Law, Kluwer Law International 2000.*
6. *Draft Common Frame of Reference (DCFR), Full Edition, Sellier European Law Publishers 2009.*
7. *Swiss Code of Obligations (Obligationenrecht).*
8. *German Civil Code (Bürgerliches Gesetzbuch – BGB) §§ 812 et seq.*
9. *French Civil Code, Articles 1303 and 1352-1 (as amended in 2016).*
10. *Turkish Court of Cassation, 3rd Civil Chamber, 14.03.2022, Merits No. 2020/6454, Decision No. 2022/2341.*
11. *Council of State (Danıştay), 6th Chamber, File No. 2022/5432.*
12. *European Court of Human Rights, Broniowski v. Poland, Application No. 37471/97, Judgment of 22 June 2004.*
13. *European Court of Human Rights, Loizidou v. Turkey, Application No. 15318/89, Judgment of 18 December 1996.*
14. *Eren, Fikret, General Provisions of the Law of Obligations, Vol. I, Yetkin Yayınları, Ankara 2024.*
15. *Arslan, İsmail, Unjust Enrichment, Yetkin Yayınları, Ankara 2023.*
16. *Antalya Metropolitan Municipality Council Decision dated 12.07.2022, Decision No. 612.*
17. *Official Gazette, 14.04.2018, No. 30391 (Cabinet Decision declaring the area as "Risk Area").*

THE SOCIAL INFLUENCE OF PROFESSIONAL SPORTS: IDENTITY, INEQUALITY, AND SOCIAL TRANSFORMATION

Muratcan IŞILDAK
International Balkan University , Institute of Law, Department of Balkan Studies , Üsküp
ORCID:0000-0002- 8156-4371
Muhammet Avşar
Institute of Law, Department of Law

Abstract
Football is more than just a sport; it is a powerful phenomenon that shapes societies and brings people together. In addition to being both a source of entertainment and passion, football also contains important social themes such as class differences, belonging, human rights, diplomacy and nationalism. These themes show how football affects social structure, how it transforms relationships between people and how it creates interaction between countries as a global phenomenon. Football helps us understand not only the differences between economic and social classes, but also people's sense of belonging, footballers who carry social responsibility and their connections to nationalism. This article aims to take a step towards understanding the social effects of football. It aims to explore how this sport has become a social and cultural phenomenon by discussing how football plays a unifying or divisive role from class differences to concepts such as belonging and nationalism.
Key Words: *Hooligans, Belonging, Identity, Violence and Platform*
Contents

INTRODUCTION

Football has developed into a passion for millions and billions of people throughout history. Modern football has its origins in England in the 19th century, but the history of people playing football dates back to ancient times. The world of football is a sport that is directly related to subculture, which is a sub-branch of sociology, but for football, as every football enthusiast and people in general say, football has always been more than a 90-minute match and game. Football is not just a sport, it has a structure that is intertwined with social, economic and cultural foundations. Therefore, football, which is within the scope of sociology, has become a rich field of study that allows for a better understanding of the relationships between individuals, groups and societies. It is possible to see many sociological issues such as identity, belonging, social inequality, cultural conflict and solidarity in the cultural and global arena in football. The study of football as a sociological phenomenon aims to understand its impact on social structures. In fact, football, as a form of social entertainment, provides a platform, a meeting point, that brings together different classes, ethnic groups and genders. For example, when you go to football stadiums, it is impossible not to see people of all languages, races (ethnic origins) and colours in the stands of the stadiums. It has always maintained its place in sports as a branch that embraces every class from teachers to students, from employers to workers, including disabled citizens. However, this meeting point (Platform) that we call the gathering point can also function as an area where social differences and inequalities are reproduced. In addition, it has a structure that can react to social events. It can directly react to issues such as politics, racism, war crimes, but if we also start from social inequalities, football-loving fan groups (hooligans) that emerge in the stands can rework issues such as nationalism,

sexism and racism, and these behaviours prove to us once again that football is not just about football. In order to understand the effect of football on social events, it is necessary to examine its effect on economic, cultural and political factors. Football has become a giant industry worth billions of dollars and is presented to humanity as a global spectacle by the media. This situation has increased the effect of football on the masses, while at the same time bringing with it discussions about its essence, that is, the discussions and strategies on the way the game is played have also become a subject of discussion. The globalizing football world also brings to light the conflicts between local values and global economic interests. These have caused clubs to become global brands. Some of these clubs are Real Madrid and Barcelona, whose names are written in golden letters in world football. If we take into accounts economic investments in branding, Manchester team City, which has achieved great success recently, has managed to find a place for itself in the branding stage. Another important aspect of football is undoubtedly its contribution to social solidarity and collective identity. Football teams provide a source of belonging for fan groups, and groups help individuals shape their social identities. For example, loyalty to a football club is not limited to sports alone, but can also affect individuals' lifestyles, political views and social relationships. As a result, the place of football in sociology expresses much more than just being a sport. In this stage, which is a platform where all kinds of political and social issues such as hooligans' ideological wars, class differences, religion, language, race issues, political issues, global wars are discussed, the words uttered in the advertisements in the media before the match starts, express these issues that remain in the background of football. Football, as more than a 90-minute match, has beautifully expressed everything that remains in the background with this slogan in the process that has continued from the past to the present. This saying has been engraved in our memories and has survived to this day. This sport, which is thought to be a sport where emotions are experienced at their peak and 22 people are running after a ball, has managed to have a say in all kinds of issues with its multifunctional aspect. Football has become a phenomenon as a stage of spectacle reflecting the values, conflicts and forms of socialism of individuals and societies. Fiery stands, workers or bosses singing the same songs with one voice, wearing the same colored uniforms, have found a place for themselves in the same row in the stands and only in these stands have they managed to create a classless phenomenon. In this seminar, we will take a deep look at topics such as how football emerged from the past to the present, its reactions to global issues and what role it plays in political matters.

II) The Sociological Dimension of Football

In sociology, the sociological dimension of football plays a critical role in understanding the effects of sports on individuals and society. Football is considered a phenomenon that reflects social values, identities and social norms, beyond being just a means of competition or entertainment. Football enables individuals from different social classes to come together on common ground. This sport creates a strong bond between its fans and develops a sense of social solidarity and belonging. The culture of supporting a team becomes an inseparable part of individuals' social identities. In this context, the social interactions created by football have a deep impact on the ways people express themselves and group dynamics. One of the sociological dimensions of football is how social categories such as gender, race and ethnic identity are shaped through this sport. The increasing interest in women's football has created an important area of struggle in the context of gender equality and paved the way for the questioning of gender roles. At the same time, football provides a platform for discussing themes of racism and discrimination; these issues become more apparent, especially in major

tournaments. Another sociological dimension of football is national identity. The success of national teams acts as a unifying factor for national identity. This contributes to the reinforcement of national feelings and national unity. Football matches allow people to come together even in times of social polarization and political tension.

As a result, football goes beyond being just a sport and provides an important tool for understanding the dynamics of social structure. Exploring the multifaceted relationships between individuals and society requires studies and in-depth examinations aimed at understanding the sociological dimension of football.

II.I) Fan Culture and Class Differences

There are cultural conflicts between team fans (hooligans) who support the colors of different teams, and it is possible to observe in the stands where there are class differences, that everyone comes together on the same common ground of supporting the football team. When we consider this issue, it is necessary to reveal the sociological dimension of fandom. Football fandom, as a sociological phenomenon, affects the way individuals define themselves. In Turkey, fans develop a strong sense of belonging through the teams they support. *Football should be considered as a very important social issue for Turkey. Even more so, the phenomenon of football and fandom has become one of the most important independences of our identity information. One of the few prominent people used by millions of people in Turkey is the famous team*. (Kurtoglu, 2022).

II.II) Class Differences and Fan Groups

When considering this issue, it is useful to know the history of football. Football, a sport that has been around for centuries, has been an indispensable source of entertainment for the working class. But when we examine history more closely, it is possible to observe that football emerged in a more distant past than our present. *The history of humans playing with a "ball" dates back to ancient times. In Egyptian tombs, human figures playing with their feet have been found. In fact, leather or linen balls with a diameter of 7.5 cm from that time have survived to the present day, 2500 years ago, and are exhibited in some museums. Homer also mentions ball games in his "Odiesa". It is known that in 2500 BC, people practiced by trying to pass a ball between two spears planted on the ground in China. After appearing in similar forms in almost all civilizations throughout history, football took its closest form to its current form in England in the 17th century.* (Marmaraspor, 2016). For example, while the fans of the English team Liverpool have working class roots, the fan groups of some major teams in Turkey exhibit a more heterogeneous structure so what does heterogeneous structure mean? We can define heterogeneous structure in stands as having class differences, that is, the stands that we observe in Liverpool and are connected to the working class have taken a variable form in Turkey and have brought with them stands with class differences.

Characteristics of Supporter Groups:

The first thing that comes to mind when it comes to the characteristics of fan groups is identity formation. Fans develop a strong sense of identity through the team they support. This plays an important role in reinforcing individuals' social belonging and creating a social bond. Fan groups are social interaction areas that strengthen this sense of common identity.

The second thing you need to see when you look at fan groups is the political influences because one of the most important issues that football affects is political issues. When we look at the history of football, one of the most important examples that comes to mind is the events that took place between the Catalan team Barcelona during the Dictator Franco period in Spain and Real Madrid, which is called the King's team today so what happened during the Dictator Franco period? The dictatorship of Francisco Franco had a profound effect not only on political

and social life in Spain, but also on the world of sports, especially football. During Franco's rule, the rivalry between Spain's two biggest football clubs, Real Madrid and Barcelona, went beyond being a sporting struggle and took on a political meaning. Franco's policies put pressure on the people, especially in the Catalonia region, and complicated the relationship between Barcelona and Real Madrid. *According to the regime, Real Madrid was an ambassador of Spain. It was natural that the licenses raised by Franco's marriage friend, Real Madrid President Santiago Bernabeu, but the oppositionists living in exile, who went to Real's European Cup demonstration with the flags of the Republic, had different feelings. The Spanish in exile were careful to differentiate themselves from Real Madrid, who were the champions of the Cup 1 five times in a row, and the French regime in general with Spain. The regime's basic approach was to own all the successes and never take credit, that is, to attack "El Caudillo" and the failures were to attack the conspiracies* (Sönmez, 2022) When we look at Franco's relations with Real Madrid, it is possible to see that he did everything for Real Madrid with the influence of the nationalist movement. So how were his relations with the Catalan team Barcelona?. *When the troops of Dictator Franco, who ruled Spain for 36 years, entered Barcelona, they bombed the club building and executed Barcelona President Josef Sunyol. The murdered Republicans were buried in mass graves on Montjuic Hill. That's why the Olympic Stadium was built here later. In 1943, Barcelona had to lose 11-1 to Real Madrid in a cup match called "Generallisimo", which was Franco's title. When we say Catalan, we actually think of Barcelona, not Catalonia. Barcelona is more than just a team, it is also the symbol of a region and even a nation that does not consider itself Spanish. In their own words, "mas que un club", meaning it is more than a club.* (Er, 2016) As we know, football has been an arena where nationalism, as well as other historical examples, are practiced. The political events that took place between Madrid and the Catalan team Barcelona during the civil war in Spain during the Franco period are one of the situations that best illustrate this situation.

III) Fanaticism and Violence in Football

Football is one of the most watched and enthusiastic sports in the world. People come together in stadiums with great love and devotion for their teams and watch the match in front of the screen with enthusiasm. However, this great passion can sometimes get out of control and the devotion to football can lead to negative situations such as violence and fanaticism. Football is not just a game, it can become an identity and a sense of belonging for many people. Therefore, a team's victory or defeat can sometimes have much greater meaning. However, when extreme fanaticism enters the picture, this passion can become dangerous. The dictionary meaning of fanaticism is defined as excessive devotion and passionate devotion to someone or something, bigotry. There is no such thing as "alternative" in the dictionary of fanaticism. The world is one-dimensional for it, and that dimension is itself. *E. M. Cioran writes the following about fanaticism in his work The Book of Decay, under the title "The Genealogy of Fanaticism": "In fact, every idea is neutral, or should be; but man animates it, projects his flames and madness into it; the idea, lost its purity, transformed into belief, takes its place in time, takes on the appearance of an event: the transition from logic to epilepsy is patched up. This is how ideologies, doctrines, and bloody jokes are born."* (Cioran, 1949) Sometimes, loyalty to their team can go beyond healthy competition, leading to seeing opponents as enemies and overreacting. Matches can cease to be just games and turn into identity wars. This can lead to violence in stadiums and sometimes on the streets. Fights between fans, attacks on players or hate speech on social media can create a dark picture behind the beloved face of football.
So what are the causes of violence in football and what are the factors that cause them?

III.I) Extreme Loyalty

It is possible to see these in cities where fanaticism is experienced at extreme points, especially in city teams. As a result, fans sometimes identify with their personal identity through their loyalty to their team. An attack or insult against a team can be perceived as a personal attack and may be met with violence. One of the best examples of this can be given as an example of Trabzonspor, the biggest city team in Turkey and the second team in the world according to statistics. Due to the geography they are located in, the fans who are tough and emotionally live their emotions at their peak have identified with Trabzonspor and it is possible to see pieces of Trabzonspor everywhere in the city. In the 2009-2010 season, the two teams faced each other in the last match of the Istanbul Kadikoy league and the match ended in a draw and as a result, Fenerbahçe lost the championship title. The rivalry between the two teams went beyond the football field and into the streets and squares due to the match that occurred in the 10-11 football season. These incidents have continued to cause incidents on the pitch throughout the ongoing football seasons and have turned into a blood feud between the two teams. Some of the events that have come to our day have found their place in newspapers and the world press. *L'Equipe, one of the most circulated French sports newspapers, described the spectator incidents at the match as "The pitch turned into a battlefield",Le Monde reported, "Home team fans threw flammable materials onto the pitch, causing the referee to leave the pitch.", La Gazzetta dello Sport, one of Italy's leading sports newspapers, wrote, "Madness in Trabzon: Bricks against Fener"* (Eventful match in the world press, 2014). When we come closer, it is possible to see many similar events. Such events show us that football is more than just a match played on the field, it is a platform that can mobilize the masses.

III.II) Group Identity and Herd Psychology:

An important reason for football violence is the group identity formed by the fans and the resulting herd mentality. Football fans, especially when they feel great loyalty to their team, adopt their team as a source of identity. In other words, the team goes beyond being just a sports club; it becomes intertwined with the fan's identity. The team's success is felt as the fan's personal success, while the team's loss can be perceived as a kind of personal defeat. This emotional bond causes fans to not only watch the matches, but also to live every moment of the team, every success and every loss as an internal experience. This sense of belonging allows football fans to establish strong social bonds with each other. People who support the same team not only share a common goal or passion, but also support each other. Deep friendships, groups and communities are formed among people who support the same team, whether they are going to matches, during social events or on the internet. The team's success can be a celebration for everyone in this group, while failure can be a period of mourning. Every victory of the team reinforces the fan's identity within the society; being part of the team makes the individual feel like he or she is in a strong and belonging group. However, this strong sense of identity can also trigger herd psychology over time. This allows individuals to act collectively by sharing similar feelings with other members of the group. A fan may adopt the thoughts and reactions of the group due to the love and loyalty they feel for their team, which can sometimes lead to collective violent actions. While an individual does not act alone, they can normalize such behaviors within the group, and herd psychology comes into play. This can trigger fans to resort to violence as a group when they come together, during an event or a match. The sense of togetherness within the group, combined with the feeling of individuals defending not only their own identity but also the identity of the entire group, can legitimize violent behavior. As a result, the loyalty that football fans feel for their team goes beyond creating an identity and feeds herd psychology. This strong sense of belonging and social ties do not only enable fans

to follow a team; social dynamics within the group also pave the way for the emergence of undesirable behaviors such as violence. In this context, preventing football violence requires an approach that is not only aimed at changing individual behaviors, but also at understanding group psychology, community dynamics, and the sense of belonging.

IV)The Place of Football in International Relations

Football, as a sport, also takes its place in society as a source of interaction that helps societies and nations get to know each other in the international arena. When games such as the Olympic Games are organized, teams and fans have the opportunity to go to away games and meet people from other nations. Institutions such as UEFA and FIFA organize matches in this context, allowing nations to culturally integrate and get to know each other better.

IV.I) Football and Diplomacy: Football as a Tool

Football can sometimes serve as a direct diplomatic tool in international relations. This is not limited to matches played between national teams; football can also be used as a "soft power" strategy for states and governments. Soft power refers to non-coercive ways for a country to gain acceptance from others, influence them and gain power. In this context, football organizations can provide an important platform for improving, developing or reducing tensions between countries. Such football matches can often act as icebreakers in diplomatic relations, and such events can sometimes even pave the way for the resolution of disputes that have lasted for years between two countries. For example, football matches provide opportunities for leaders of countries to come together, carrying not only sporting but also political meanings. Such organizations allow two countries to put aside their hostilities and find common ground. This aspect of football can become a powerful symbol and tool for repairing diplomatic relations, especially in times of international crisis. Therefore, it is possible to say that football is more than just a match, and its role in international relations is much deeper and strategic. *In 1923, General Harrington organized a tournament in his name, which he predicted would boost the morale of the English before leaving Istanbul if they won. The English lost 2-1 against Fenerbahçe. So much so that Harrington's idea became a matter of pride for the Turks. At the end of the match played in Taksim Stadium, Fenerbahçe players were carried on shoulders in Beyoğlu, giving central Istanbul an indescribable sense of pride and "victory" for those days*. (Kurtoglu M. T., 2024)

IV.II) Football and Human Rights: Ethics and Justice

Football has become a powerful phenomenon that leaves deep traces in the cultural structures of modern societies, shapes social dynamics and even creates an impact in the political arena. Therefore, the power of football is not limited to competition on the field; By reaching millions of people through the media, football can directly affect the lifestyles, values and even social relations of its viewers. This global impact of football makes it more than just a sport, it becomes a cultural language, a social bond and a political tool.

The intersections of football with human rights and ethical values enable this impact to deepen even further. Because football can sometimes turn into a platform where a people can make their voices heard and sometimes stand against social inequalities. Although it may seem like a game, football has become a medium that allows people to discuss basic human values such as equality, justice, rights and freedoms. At this point, the power and potential of football can be not only a physical struggle, but also a symbol of a social and ethical struggle. Correctly managing this huge sphere of influence, for both players and organisers, can help football become an instrument of truly positive change. For Example, Human rights discussions were

held at the World Cup played in Qatar in 2022. *The awarding of the World Cup to Qatar drew reactions due to reasons such as human rights violations, negative attitudes towards homosexuals, and mistreatment of migrant workers. Human rights organizations asked the countries not to participate and criticized the names that had advertising faces and supported them.* Accordingly, a statement from FIFA regarding this issue. *"We welcome the assurances from the Qatari government and FIFA that all football fans, including LGBTI+, will be safe in the name of inclusivity. We are aware that every country has its own issues, and we agree with FIFA's view that diversity will bring strength. Diversity and tolerance can only be achieved by embracing human rights. "Human rights are universal and valid everywhere."* (10 countries to Fifa, saying 'Focus on football in Qatar': Human rights are universal, 2022).

Racism:

Football has historically been one of the areas where racism and discrimination are most intense. Black players in particular have faced racist rhetoric both on the field and in the stands and have occasionally been physically attacked. This situation shows that football is a microcosm reflecting deep racist prejudices in society. Black footballers have shown great resistance to this discrimination for years, but this struggle has often been ignored. However, the global power and broad influence of football also offers an important opportunity to stand against racism and raise public awareness. In recent years, footballers have raised a strong voice against racism through social media and the press. Many famous footballers have stood against racist attacks and called on society to think more and take an action on this issue. For example, players such as Marcus Rashford, Raheem Sterling and Mohamed Salah have become important figures who take a stance against racism both on the field and off. These footballers have attracted attention not only with their games, but also with their sensitivity to social issues. In addition, various campaigns have been launched in the world of football to combat racism. Global campaigns such as "Say No to Racism" allow football to take a stance against racism and raise more awareness in society on the issue.

In addition, football clubs have launched programs that call on their fans to be sensitive to racism and have taken various steps to combat racist rhetoric in the stands. For example, clubs impose harsh sanctions on fans who display racist behavior during matches and do not tolerate such rhetoric. Such steps prove that football is not just a sport, but can also be a powerful tool for social change.Football is no longer just a means of entertainment, but also a platform that can advocate for social justice. The fight against racism shows that football can use its power for human rights and equality, and this reveals how wide the sphere of influence of football is.

V) Football and Nationalism

There is a strong connection between football and nationalism. Football is one of the areas where national identity and pride are most clearly expressed. A country's national football team is not just a group of athletes, it represents the history, culture and values of that country. In major tournaments like the World Cup, every goal, every victory resonates in the hearts of a nation, and behind a victory is not only football, but also a sense of national belonging. Football also allows nationalism to be used as a tool. For example, football matches become areas where national unity is reinforced and different segments of society come together around a common goal. Whether it is celebrations in the streets or enthusiastic cheers in stadiums, football is an activity that infiltrates nationalism into daily life. In this context, nationalism can be used to increase social solidarity or build a national identity by using the power of football. However, the relationship between football and nationalism is not limited to a positive interaction. Especially in international matches, football can sometimes trigger ethnic and political tensions. Nationalism can create anger and hostility towards opposing nationalities; the power of football

can sometimes become a tool that fuels discrimination and hate speech. For example, as we all know, the example of Merih Demiral and the Grey Wolf sign in the last Euro tournament is one of the best examples that explains this and Demiral said the following words in the ongoing process: *"I had a goal celebration in mind and I did it, it has to do with Turkishness. I am very proud to be Turkish, so after the goal I felt it in my bones. I wanted to do something like that, and I am very happy that I did it,"* he said. The incident also received political backlash in the German media because the tournament was hosted by Germany. *Nancy Faeser, the Interior Minister of Germany, which hosted the tournament, shared the message on her X account, "Turkish far-right signs have no place in our stadiums." Faeser shared the following in her post: "It is unacceptable to use the European Football Championship as a platform for racism. We expect UEFA to investigate the incident and evaluate sanctions."* (What decisions can UEFA make regarding Merih Demiral's 'grey wolf' goal celebration?, 2024)

The culture manner ; football and nationalism are two concepts that feed each other. While football provides a space that reinforces and embodies nationalism, nationalism also plays an important role in the construction of national identities by benefiting from the dramatic power of football. This relationship can be both unifying and sometimes divisive, because football is not only entertainment but also an arena where national identities are reflected.

V.I) Nationalist Tendencies of Supporter Groups

The relationship between football fan groups and nationalism is sometimes evident. These groups tend to see their team's success not only as a sporting achievement but also as a nationalist victory. In this context, the team's colors, flags and symbols are considered as elements representing national values and cultural identity. Therefore, football goes beyond being just a sport and becomes a tool of identity politics however, when this nationalist affiliation is taken to the extreme, it can lead to violence, racism and exclusionary attitudes. Fans may tend to see fans of opposing teams not only as anti-sports but also as "enemies". This situation can encourage discrimination and polarization, contrary to the unifying power of football. Tensions and violent incidents fed by nationalism are frequently experienced, especially during derby matches and international tournaments as a result, nationalist discourses among football fan groups play an important role in the construction of both individual and social identities. However, the negative consequences of this situation should also be taken into consideration, as extreme nationalism has the potential to lead to social unrest. *There was a UEFA Cup match between Olympiakos FC and Fenerbahçe SK in Greece. In this match, most of the fans spewed hatred by insulting and cursing each other. It is clear that the reason why the fans did not like each other was not only football rivalry. National hatred also played a role. Let me repeat, the provocations of politicians and the influence of history textbooks are undeniably effective in this hatred.* (Erdogdu, 2021)

Conclusion

Football is not just a sport, but also a phenomenon that deeply affects society. The sociological themes it contains show how powerful a social tool football is. One of these is class differences. Football often reveals the economic gap between high-income professional clubs and amateur teams. However, football also provides an area where many people from lower classes achieve social mobility through football. This shows that football is not just entertainment, but also an area that can make class differences visible and sometimes overcome them another important effect of football is the sense of belonging. People strengthen their loyalty to their clubs or national teams through football. Fans build an identity by uniting around a club or national team. This belonging creates social communities, but can sometimes turn into fanaticism. Excessive competition between fan groups can lead to violence and discrimination. On the other

hand, when football offers the opportunity to unite around a common goal, it also has great potential for social peace and tolerance. Football is also a powerful platform for human rights. Players fulfill their social responsibilities by standing against racism and discrimination. Football plays an important role in raising awareness of human rights violations. Football can be effective worldwide, especially in the fight against racism, and contributes to social change with the messages it conveys for social equality.Football also has a diplomatic role. International matches and tournaments can be used to calm political tensions between countries and initiate dialogue. Football can be a tool of diplomacy. However, the impact of football at the international level may not always be positive; sometimes it becomes a tool for nationalism and national identity construction, while sometimes it can fuel nationalist enthusiasm, violence and hostility.Football's relationship with nationalism is especially evident through national teams. A country's football victory creates a great sense of national pride and belonging among that people. This enthusiasm can strengthen social unity. However, nationalism can sometimes turn into discrimination, racism or violence. Football is an area that can simultaneously contain both the unifying and divisive aspects of nationalism.

As a result, football is a very powerful tool that shapes social structures and relations. Themes such as class differences, belonging, human rights, diplomacy and nationalism guide the social effects of football. Football provides an opportunity for social change and also acts as a mirror reflecting social problems.

Bibliography

(2022). *10 countries to Fifa, saying 'Focus on football in Qatar': Human rights are universal.* Diken. Retrieved from https://www.diken.com.tr/10-ulkeden-katarda-futbola-odaklanin-diyen-fifaya-yanit-insan-haklari-evrenseldir/

Bolelli, C. E. (2014, 03 11). Eventful match in the world press. Retrieved from https://www.aa.com.tr/tr/spor/olayli-mac-dunya-basininda/175729#

Cioran, E. M. (1949). E. M. Cioran'ın "Fanatizmin Seceresi" başlığını İngilizce'ye şu şekilde çevirebiliriz:. In E. M. Cioran, *The Book of Decay* (p. 2). METIS PUBLICATIONS.

Er, T. (2016, 02 03). Barcelona&Madrid Fight. (T. M. Group, Ed.) *Takvim*.

Erdogdu, A. T. (2021, 11 07). *Football and Nationalism.* Serbestiyet. Retrieved from https://translate.google.com/?sl=auto&tl=en&text=Yunanistan%E2%80%99daki%20Olympiakos%20FC%20ile%20Fenerbah%C3%A7e%20SK%20aras%C4%B1nda%20UEFA%20kupas%C4%B1%20ma%C3%A7%C4%B1%20yap%C4%B1ld%C4%B1.%20Bu%20ma%C3%A7ta%20taraftarlar%C4%B1n%20b%C3%BCy%C3%BCk%20k

Kurtoglu, M. T. (2022, 02 13). OPINION - Culture and Sociology of Football. Retrieved from https://www.aa.com.tr/tr/analiz/gorus-futbolun-kulturu-ve-sosyolojisi/2501428

Kurtoglu, M. T. (2024, 11 01). Uluslararası Siyasetin Alanı Olarak Futbol. *A Fun Soft Power Area in Diplomacy: Football*. Retrieved from https://kriterdergi.com/siyaset/diplomaside-eglenceli-bir-yumusak-guc-alani-futbol

Marmaraspor (Ed.). (2016). History of Football and What is Football? *History of Football* . Retrieved from https://www.marmaraspor.com.tr/blog/futbolun-tarihcesi-ve-futbol-nedir.html

Sönmez, M. F. (2022, 11 22). Franco: Two faces of heritage. *Universal*. Retrieved from https://www.evrensel.net/yazi/87600/franco-mirasin-iki-yuzu

(2024). *What decisions can UEFA make regarding Merih Demiral's 'grey wolf' goal celebration?* BBC NEWS. Retrieved from https://www.bbc.com/turkce/articles/cw4ypqg90jyo

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİKTE YAPAY ZEKÂ TEMELLİ YENİ YAKLAŞIMLAR: GENOMİK, PROTEOMİK, PROTEİN TASARIMI

Handan ZEYNEPLİ
Çukurova University, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana
ORCID: 0000-0002-2773-8107
Hikmet Yeter ÇOĞUN
Çukurova University, Ceyhan Veteriner Fakültesi
ORCID: 0000-0001-6559-4397

Öz
Yüksek verimli dizileme, kütle spektrometrisi ve tek hücre teknolojileri büyük ölçekli biyolojik veriler üretmektedir. Bu durum, moleküler biyoloji ve genetikte analitik yöntemlerin yeniden gözden geçirilmesini gerektirir. Yaptığımız bu derleme çalışmasında, son iki yılda yapılan çalışmaların yapay zekânın genomik, proteomik, tek hücre biyolojisi, çoklu omik entegrasyonu, protein mühendisliği ve translasyonel onkolojideki kullanım alanları incelenmiştir. Makine öğrenmesi, derin öğrenme, Transformer mimarileri, temel modeller, üretici modeller ve araç kullanan büyük dil modeli ajanları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Derleme çalışmamız, yapay zekânın sadece biyolojik örüntüleri tanımlamakla kalmadığını. Aynı zamanda koşullu moleküler tasarım ve sanal hücre modellemesi için de olanak sunduğunu göstermektedir. Yapay zekâ destekli keşif süreçlerinin güvenilir şekilde yaygınlaşması için çok merkezli doğrulama, deneysel geri besleme ve şeffaf veri yönetimi gereklidir.
Anahtar kelimeler: yapay zekâ; moleküler biyoloji; genomik; proteomik; protein tasarımı; temel modeller; çoklu omik; tek hücre analizi.

NEW ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED APPROACHES IN MOLECULAR BIOLOGY AND GENETICS: GENOMICS, PROTEOMICS, PROTEIN DESIGN

Abstract
High-throughput sequencing, mass spectrometry, and single-cell technologies generate large-scale biological datasets, necessitating a reassessment of analytical approaches in molecular biology and genetics. In this review, we examine studies published over the past two years, focusing on the applications of artificial intelligence (AI) in genomics, proteomics, single-cell biology, multi-omics integration, protein engineering, and translational oncology. Machine learning, deep learning, Transformer-based architectures, foundation models, generative models, and tool-using large language model (LLM) agents are comparatively evaluated and critically discussed. Our review highlights that AI not only enables the identification of complex biological patterns but also provides novel opportunities for conditional molecular design and virtual cell modeling. However, the reliable and widespread implementation of AI-driven discovery approaches requires multicenter validation, integration of experimental feedback, and transparent data management practices.
Keywords: Artificial intelligence; molecular biology; genomics; proteomics; protein design; foundation models; multi-omics; single-cell analysis.

Giriş

Moleküler biyoloji araştırmalarında DNA, RNA, protein ve metabolit düzeylerindeki ölçümlerin hacmi hızla artmaktadır. Ancak bu katmanların karşılıklı ilişkilerini açıklamak giderek zorlaşmakta ve tekil ölçüm platformları, hücresel durumun yalnızca sınırlı bir yönünü gösterebilmektedir. Bu yüzden biyoinformatikteki değişim, sadece daha büyük veri kümelerinin işlenmesini değil, moleküler ölçekler arasında biyolojik olarak anlamlı bağlantılar

kurulmasını da içermektedir [1,2].
Günümüzde kullanılan yapay zekâ sistemleri, gözetimli öğrenme ile sınıflandırma ve kestirim yapmanın ötesine geçerek ön eğitim yoluyla aktarılabilir biyolojik temsiller öğrenmekte, yeni diziler üretmekte ve çok aşamalı araştırma iş akışlarını koordine edebilmektedir [3–5]. Bu ilerlemelerin deneysel biyolojiyle ilişkisi, algoritmik başarıların hangi koşullarda doğrulanabilir biyolojik bilgiye dönüşebildiği sorusu etrafında değerlendirilmelidir.
Genomik uygulamalar, dizileme verilerinin işlenmesi, varyantların saptanması ve işlevsel etkilerin tahmin edilmesi gibi farklı görevler içerir. Mahmud ve Banerjee [3], yaptıkları çalışmada klasik makine öğrenmesi, derin öğrenme, büyük dil modelleri ve açıklanabilir yapay zekâyı genomik iş akışları açısından ele alarak DeepVariant ve Enformer gibi yaklaşımların önemini vurgulamaktadır. Bu sistemlerin başarısı, veri temsili, referans genom ve değerlendirme veri kümesinin özelliklerinden bağımsız değildir.
Genomik dizilerin uzun menzilli düzenleyici ilişkileri, Transformer tabanlı yaklaşımların kullanılmasını destekler. Ancak, dizilerin uzunluğu hesaplama yükünü artırır. eğitim verisinde popülasyon dengesizlikleri, az temsil edilen gruplarda tahmin hatalarına yol açabilir [3]. Bu nedenle biyolojik olarak anlamlı bir varyant yorumu sadece model puanına değil, deneysel ve klinik kanıtlarla uyuma dayanmalıdır.
Tek hücre RNA dizilemesi, hücresel heterojenliği tanımlamak için geniş ölçekli ifade matrisleri sağlar. Baek ve arkadaşları [6], araştırmalarında tek hücre temel modellerinin büyük ve çeşitli veri kümelerinde özdenetimli öğrenme yoluyla hücre ve gen düzeyinde gizil temsiller elde ettiğini açıklar. Bu temsiller hücre tipi tanımlama ve diğer aşağı akış görevlerine aktarılabilir Ancak, genlerin doğal bir sözcük dizisi oluşturmaz. Bu durum dil modellerinden aktarılan sıralama varsayımlarını tartışmalı hâle getirir.
Cui ve arkadaşları [7], genomik, transkriptomik, epigenomik, proteomik, metabolomik ve mekânsal profillemenin birlikte öğrenildiği çok modlu temel modelleri geleceğe dönük bir araştırma yönü olarak tanımlamaktadır. Bu yaklaşım hücre durumlarını ortak bir temsilde birleştirmeyi amaçlasa da farklı platformların eksik ölçümleri, örnek eşleştirme güçlükleri ve deneysel parti etkileri kritik sorunlardır. Temel modellerin biyolojik mekanizmayı doğrudan keşfettiği düşünülmemelidir. Öğrenilen ilişkilerin nedensel müdahale deneyleriyle sınanması gerekir.
Proteomik, gen ifadesinin ötesine geçer ve protein miktarını, translasyon sonrası değişiklikleri, etkileşimleri ve hücre içindeki yerini inceleyerek fenotipe daha yakın ölçümler sunar. Sun ve arkadaşları [8], yapay zekânın kütle spektrometrisi verilerinde peptit ve protein tanımlama ile miktar belirlemede, protein komplekslerini anlamada, mekânsal ve pertürbasyon proteomiğinde yardımcı olduğunu belirtir. Çalışma, bu bileşenlerin çoklu omik entegrasyonuyla sanal hücre modellerine katkı sağlayabileceğini öne sürer.

Yapay zekâ destekli protein tasarımı

Protein mühendisliğinde temel amaç, belirli işlevsel, yapısal ve üretilebilirlik koşullarını karşılayan amino asit dizileri elde etmektir. Koh ve arkadaşları [9], yönlendirilmiş evrim ve rasyonel tasarımın yapay zekâ araçlarıyla desteklendiği iş akışlarını açıklarken işlev, yapı ve geliştirilebilirlik boyutlarının birlikte ele alınması gerektiğini belirtmektedir. Mi ve arkadaşları [10] ise protein dil modelleri, yapısal kestirim ve üretici tasarım yaklaşımlarının de novo protein mühendisliğindeki yerini tartışmaktadır.
Zhu ve arkadaşları [4], yaptıkları çalışmada kontrol edilebilir dizi tasarımını, belirli koşullar altında protein dizisi üretimi olarak ele alıyor. Ayrıca, yapısal iskelet, hedefe bağlanma ve biyofiziksel özellikler gibi kısıtları birbirinden ayrı olarak inceliyorlar. Üretici modellerin önerdiği diziler, deneysel ifade edilebilirlik, stabilite, bağlanma özgüllüğü ve işlevsel etkinlik

açısından doğrulanmadıkça uygulamaya hazır ürünler olarak görülmemelidir. Bu yüzden, hesaplamalı tasarım ile ıslak laboratuvar doğrulamasının tekrar eden bağlantısı önemlidir [4,9,10].

Kanser, genomik değişimlerden hücresel mikroçevreye ve klinik sonuçlara kadar çok katmanlı bir çeşitlilik gösterir. Liu ve arkadaşları [2], genomik, epigenomik, transkriptomik, proteomik, metabolomik, tıbbi görüntüleme, dijital patoloji ve klinik kayıtların yapay zekâ ile birleştirilmesini hassas onkolojide önemli bir nokta olarak görmektedirler. Bu birleşimin erken tanı, hasta alt gruplarının belirlenmesi, tedaviye yanıtın tahmin edilmesi ve ilaç direncinin anlaşılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Çizelge 1. Yöntemlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Yaklaşım	Başlıca kullanım	Temel sınırlılık
Genomik derin öğrenme	Varyant ve düzenleyici etki tahmini	Popülasyon yanlılığı, uzun dizi maliyeti
Tek hücre temel modelleri	Hücre temsili ve hücre tipi analizi	Parti etkisi, biyolojik yorumlanabilirlik
Çok modlu modeller	Omik ve klinik verilerin bütünleştirilmesi	Eksik modaliteler, veri hizalama
Yapay zekâ proteomiği	Peptit/protein tanımlama ve etkileşim analizi	Ölçüm karmaşıklığı, proteoform kapsamı
Üretici protein modelleri	Koşullu dizi ve de novo protein tasarımı	Deneysel işlev ve üretilebilirlik doğrulaması
Büyük dil modeli ajanları	Çok adımlı biyoinformatik iş akışları	Hata yayılımı ve yeniden üretilebilirlik

Tartışma

Çalışmamızda incelenen araştırmalar, üç yakınsayan eğilime işaret etmektedir. Birincisi, yapay zekâ modelleri görev-özel sınıflandırıcılardan, çok sayıda biyolojik göreve uyarlanabilen ön eğitimli sistemlere yönelmektedir [1,3,6]. İkincisi, tekil omik ölçümlerinin yorumlanması yerini moleküler, mekânsal ve klinik verilerin bütünleştirilmesine bırakmaktadır [2,7,8]. Üçüncüsü, tahmin odaklı hesaplamadan tasarım ve deney döngülerine uzanan bir dönüşüm gözlenmektedir [4,5,9,10].

Bu eğilimler arasında önemli bir gerilim vardır. Daha büyük ve karmaşık modeller daha zengin temsiller öğrenebilse de, bu durum her zaman daha iyi genellenebilirlik veya nedensel açıklama sağlamaz. Farklı makalelerde raporlanan performans ölçütleri görev, veri kümesi ve doğrulama protokolü değiştiği için doğrudan karşılaştırılmamalıdır [1,3]. Bu yüzden dış doğrulama kümeleri, veri sızıntısının önlenmesi, belirsizlik raporlaması ve biyolojik işlev deneyleri model seçiminin ayrılmaz parçaları olmalıdır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda biyolojik açıdan çeşitli ve iyi belgelenmiş eğitim kümeleri, veri kaynağına duyarlı kıyaslama protokolleri ve deneysel doğrulamayla kapanan tasarım döngüleri öncelikli olmalıdır. Çoklu omik modellerde eksik veri mekanizmalarının açıkça modellenmesi; tek hücre sistemlerinde doku, tür ve platformlar arası aktarımın değerlendirilmesi; protein tasarımında ise işlev, stabilite ve üretilebilirliğin eş zamanlı test edilmesi gereklidir [4,6,7,9].

Klinik uygulamalarda açıklanabilirlik, veri gizliliği, önyargı analizi ve prospektif değerlendirme sadece teknik ayrıntılar değildir. Bunlar güvenilir kullanımın ön koşullarıdır [2,3]. Yapay zekâ ajanlarının araştırma süreçlerine entegrasyonunda işlem izleri, sürümlenmiş araçlar ve insan onayı mekanizmaları yeniden üretilebilirliği güçlendirebilir [5].

Sonuç olarak, yapay zeka moleküler biyoloji ve genetikte analiz, öngörü ve tasarımı ortak bir hesaplamalı çerçevede bir araya getirmektedir. Genomik varyant yorumlama, tek hücre verilerinden hücresel temsiller öğrenme, proteomik çözümleme, çoklu omik entegrasyonu ve hedefe yönelik protein tasarımı bu değişimin öne çıkan alanlarıdır. Bununla birlikte biyolojik geçerlilik, hesaplamalı başarıdan bağımsız olarak deneysel ve gerektiğinde klinik kanıtlarla gösterilmelidir. Alanın sürdürülebilir gelişimi, güvenilir veri altyapıları, açıklanabilir ve doğrulanabilir modeller ile disiplinler arası iş birliğine bağlıdır.

Kaynaklar

[1] Jiang J, Li Y, Cao S, ve ark. (2025). Artificial intelligence in bioinformatics: a survey. Briefings in Bioinformatics, 26(6), bbaf576. https://doi.org/10.1093/bib/bbaf576

[2] Liu F, Beck S, Yang L, Luo H, Zhang K. (2026). Advancing AI for multi-omics and clinical data integration in basic and translational cancer research. Nature Reviews Cancer, 26, 497–512. https://doi.org/10.1038/s41568-026-00922-2

[3] Mahmud MI, Banerjee T. (2026). Artificial Intelligence in genomics: a comprehensive survey of methods, resources, challenges, and prospects. Briefings in Bioinformatics, 27, bbag229. https://doi.org/10.1093/bib/bbag229

[4] Zhu Y, Kong Z, Wu J, ve ark. (2026). Generative AI for controllable protein sequence design: A survey. npj Drug Discovery, 3, 19. https://doi.org/10.1038/s44386-026-00054-5

[5] Dip SA, Mallick D, Shuvo UA, ve ark. (2026). Large language model agents for biological intelligence across genomics, proteomics, spatial biology, and biomedicine. Briefings in Bioinformatics, 27, bbag110. https://doi.org/10.1093/bib/bbag110

[6] Baek S, Song K, Lee I. (2025). Single-cell foundation models: bringing artificial intelligence into cell biology. Experimental & Molecular Medicine, 57, 2169–2181. https://doi.org/10.1038/s12276-025-01547-5

[7] Cui H, Tejada-Lapuerta A, Brbić M, ve ark. (2025). Towards multimodal foundation models in molecular cell biology. Nature, 640, 623–630. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08710-y

[8] Sun Y, A J, Liu Z, ve ark. (2026). AI proteomics: from protein identification to virtual cells. Nature Methods, 23, 1697–1709. https://doi.org/10.1038/s41592-026-03085-y

[9] Koh HY, Zheng Y, Yang M, ve ark. (2025). AI-driven protein design. Nature Reviews Bioengineering. https://doi.org/10.1038/s44222-025-00349-8

[10] Mi Y, Shukla A, Tangney M, Tabirca S, Yallapragada VVB. (2026). Protein Design Enters the Artificial Intelligence Era: Foundations, Tools, and Emerging Paradigms. Computational and Structural Biotechnology Journal, 35(1), Article 0105. https://doi.org/10.34133/csbj.0105

KROMUN FARKLI OKSİDASYON BASAMAKLARININ HEMATOLOJİK, METAB OLİK VE ORGAN SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Handan ZEYNEPLİ
Çukurova University, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana
ORCID: 0000-0002-2773-8107
Hikmet Yeter ÇOĞUN
Çukurova University, Ceyhan Veteriner Fakültesi
ORCID: 0000-0001-6559-4397

ÖZET
Yaşamın tüm alanında karşılaştığımız krom bileşikleri, kimyasal formu, dozu, maruziyet yolu ve deneysel modele göre belirgin farklılık göstermektedir. Bu derleme çalışmasında, üçdeğerlikli kromun [Cr(III)] metabolik ve immünolojik etkileri ile altı değerlikli kromun [Cr(VI)] hematolojik ve organ toksisitesi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Cr(VI) maruziyetinin eritrosit ve lökosit sayılarında azalma, oksidatif stres, karaciğer enzimlerinde yükselme ve böbrek tübül hasarıyla ilişkili olduğu; Cr(III) içeren bazı deneysel müdahalelerin glukoz-lipid metabolizması ve inflamasyon göstergelerini iyileştirebildiği görülmektedir. Ayrıca farklı Cr(III) formlarıyla yürütülen çalışmalarda proinflamatuvar yanıt, apoptoz göstergelerinde artışve hematolojik olumsuzluklar da çalışmalarda gözlenmiştir.
Anahtar kelimeler: Krom; hematotoksisite; glukozmetabolizması; oksidatif stres; hepatotoksisite; nefrotoksisite.

EFFECTS OF DIFFERENT OXIDATION STATES OF CHROMIUM ON HEMATOLOGICAL, METABOLIC, AND ORGAN SYSTEMS

ABSTRACT
Chromium compounds, which are widely encountered in various aspects of daily life and the environment, exhibit markedly different biological effects depending on their chemical form, oxidation state, dose, route of exposure, and experimental model. This review comparatively examines the metabolic and immunological effects of trivalent chromium [Cr(III)] and the hematological and organ-specific toxicities associated with hexavalent chromium [Cr(VI)]. Available evidence indicates that Cr(VI) exposure is associated with reductions in erythrocyte and leukocyte counts, increased oxidative stress, elevated hepatic enzyme activities, and renal tubular injury. In contrast, certain experimental interventions involving Cr(III) have demonstrated potential beneficial effects on glucose and lipid metabolism, as well as improvements in inflammatory biomarkers. Nevertheless, studies investigating different Cr(III) formulations have also reported adverse biological effects, including enhanced proinflammatory responses, increased expression of apoptotic markers, and unfavorable alterations in hematological parameters. Collectively, these findings highlight the oxidation state- and formulation-dependent biological effects of chromium and underscore the importance of considering its chemical speciation, exposure conditions, and dose when evaluating its potential metabolic benefits and toxicological risks.
Keywords: Chromium; Hematotoxicity; Glucose Metabolism; Oxidative Stress; Hepatotoxicity; Nephrotoxicity.

TÜRKİYE-ÜRDÜN İLİŞKİLERİ (1923-1991)

Okan ULUTAŞ
Tarih Öğretmeni, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Yüksek Lisans Öğrencisi
ORCID ID: 0009-0001-7700-8321

Çalışmada 1923-1991 döneminde Türkiye ile Ürdün arasında gerçekleşmiş diplomatik ve siyasi ilişkilerin gelişimi ile iki ülkeyi yakınlaştıran veya ayrıştıran bölgesel ve uluslararası gelişmelerin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışmanın kapsamı, Erken Cumhuriyet döneminde kurulan temaslardan Ürdün'ün bağımsızlığı sonrasında ilişkilerin kurumsallaşmasına, Soğuk Savaş'ın bloklaşma süreçlerinden 1990-1991 Birinci Körfez Krizi'ne kadar uzanmaktadır. Araştırmada tarihsel analiz yöntemi benimsenmiştir. BCA arşiv belgeleri, basın, hatırat, söylevler ile Türkiye-Ürdün ilişkileri ve Türk dış politikası üzerine yayımlanmış kitap ve akademik çalışmalar değerlendirilmiştir. Bulgular, Türkiye-Ürdün arasındaki ilişkilerin temelinin oluşumunu, Türkiye'nin Orta Doğu'ya yönelik temkinli, barışı ve bağımsızlığa saygılı yaklaşımının etkili olduğunu göstermektedir. 1937'de Ürdün Emiri Abdullah'ın Türkiye'ye gerçekleştirdiği ziyaret, karşılıklı güvenin somutlaşmasında önemli bir aşama olmuştur. 1947 Türkiye-Ürdün Dostluk Antlaşması ise diplomatik ilişkileri hukuki ve kurumsal bir zemin kazandırmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında Sovyet tehdidi ve ABD-SSCB rekabetinin Orta Doğu'ya yansıması, iki ülkenin güvenlik politikalarını belirgin biçimde etkilemiştir. Türkiye'nin Ürdün'ü Bağdat Paktı'na dahil etme girişimleri, Ürdün kamuoyundaki tepki, Arap milliyetçiliğinin yükselişi ve bölgesel baskılar nedeniyle sonuçsuz kalmıştır. Ancak bu gelişme ikili ilişkilerde kalıcı bir kopuş yaratmamıştır. 1957 Eisenhower Doktrini ve Suriye merkezli güvenlik kaygıları, Türkiye ile Ürdün'ün ABD eksenli güvenlik anlayışı çerçevesinde yeniden yakınlaşmasını sağlamıştır. 1967 ve 1973 Arap-İsrail savaşları sonrasında Türkiye'nin Arap ülkelerine yönelik dengeli politikası, Ürdün ile siyasi ve ekonomik ilişkilerin gelişmesine katkı sağlamıştır. 1990-1991 Birinci Körfez Krizi'nde Türkiye ABD öncülüğündeki koalisyonu desteklerken Ürdün dış askeri müdahaleye karşı çıkmış; bu farklılaşma ticari ilişkilerde gerilemeye yol açmakla birlikte siyasi güven nedeniyle ciddi ve kalıcı bir diplomatik krize dönüşmemiştir. Sonuç olarak Türkiye'nin batı yönelimli dış politikası ile Ürdün'ün Arap coğrafyasındaki dengeleri gözetme zorunluluğu ilişkilerin zaman zaman dalgalanmasına neden olmuştur. Türkiye-Ürdün ilişkilerinin, ortak tarihsel mirasın yanı sıra değişen güvenlik tehditleri, blok politikaları ve bölgesel krizler karşısında pragmatik bir süreklilik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar Kelime: Türkiye-Ürdün İlişkileri, Türk Dış Politikası, Soğuk Savaş, Bağdat Paktı, Orta Doğu

TURKİYE-JORDAN RELAIONS (1923-1991)

ABSTRACT
This study examines the development of diplomatic and political relations between Türkiye and Jordan from 1923 to 1991 and identifies the regional and international developments that brought the two countries closer or drove them apart. It covers the initial contacts of the Early Republican period, the institutionalization of relations after Jordan's independence, Cold War bloc politics, and the 1990–1991 First Gulf Crisis. Using historical analysis, the study evaluates documents from the Turkish Republican Archives (BCA), newspapers, memoirs, speeches, and academic studies on Türkiye–Jordan relations and Turkish foreign policy. The findings show

that bilateral relations were shaped by Türkiye's cautious, peaceful approach to the Middle East and its respect for independence. Emir Abdullah of Jordan's 1937 visit to Türkiye strengthened mutual trust, while the 1947 Turkish–Jordanian Treaty of Friendship gave diplomatic relations a legal and institutional basis. After the Second World War, the Soviet threat and US–Soviet rivalry in the Middle East significantly influenced both countries' security policies. Türkiye's attempts to include Jordan in the Baghdad Pact failed because of public opposition in Jordan, rising Arab nationalism, and regional pressures, but did not cause a lasting rupture. The 1957 Eisenhower Doctrine and Syria-centered security concerns brought Türkiye and Jordan closer within a US-oriented security framework. Following the 1967 and 1973 Arab–Israeli wars, Türkiye's balanced policy toward Arab states contributed to stronger political and economic relations with Jordan. During the 1990–1991 First Gulf Crisis, Türkiye supported the US-led coalition, whereas Jordan opposed external military intervention. This divergence weakened trade relations but, owing to political trust, did not produce a lasting diplomatic crisis. Overall, Türkiye's Western-oriented foreign policy and Jordan's need to balance Arab regional dynamics caused periodic fluctuations, while bilateral relations maintained pragmatic continuity amid security threats, bloc politics, regional crises, and a shared historical legacy.
Keywords: Türkiye-Jordan Relations, Turkish Foreign Policy, Cold War, Baghdad Pact, Middle East

SAVAŞ DÖNEMLERİNDE ALTIN FİYATININ DEĞİŞEN TEPKİSİ: ALTININ GÜVENLİ LİMAN ÖZELLİĞİNİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

PINAR EVSEN
Yüksek Lisans Öğrencisi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bankacılık ve Sigortacılık Anabilim Dalı, Tokat-Türkiye, ORCID:0009-0007-6175-7153
İSMAİL TUNA
Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü Tokat-Türkiye, ORCID:0000-0002-5796-5167

ÖZET

Bu çalışma, altın fiyatlarına geleneksel olarak atfedilen güvenli liman (safe haven) olma özelliğinin, günümüz finansal piyasa şartlarında ve jeopolitik risklerden etkilenmesi durumunda bu özelliğini koruyup korumadığı konusunda güncel bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Finans literatüründe altın, savaş ve kriz dönemlerinde yatırımcılar tarafından riskten kaçış aracı olarak tercih edilmekte ve fiyatlarının artış eğilimi göstermesi beklenmektedir. Ancak son yıllarda gözlemlenen piyasa davranışları, bu ilişkinin zayıfladığına ve altının jeopolitik şoklara verdiği tepkinin yapısal olarak değiştiğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden biri olan tarihsel vaka çalışması yöntemi kullanılmıştır. Altın fiyatının kriz ve savaş dönemi öncesi ve sonrası grafikleri incelenmiştir. Bu bağlamda 1939-2026 yılları arasını kapsayan analizde altı önemli jeopolitik olay incelenmiştir. II. Dünya Savaşı, Vietnam Savaşı,1973 Petrol Krizi,1979 Sovyet -Afganistan İşgali,1990 Körfez Savaşı ve 2001 yılında gerçekleşen 11 Eylül Saldırıları.

Tarihsel perspektifte; 2.Dünya Savaşı klasik para sisteminin çöküşüyle altını mutlak değer koruyucusu yapmış; Vietnam Savaşı ve sonrasındaki 1973 Petrol Krizi, altını doların zayıflığına ve enflasyona karşı bir kalkan olarak konumlandırmıştır.1979 Sovyet İşgali döneminde altın 850 $/ons ile reel rekorunu kırmış,11 Eylül saldırıları ise on yıl sürecek yeni bir boğa piyasasını tetiklemiştir. Ancak bu tarihsel süreklilik, 2026 ABD-İran gerilimi ile teorik bir kırılmaya uğramıştır. Gerilimin tırmandığı ve çatışma riskinin zirve yaptığı 2026 yılının ilk çeyreğinde, altın fiyatlarının beklenen yükselişi gerçekleştirmek yerine sert bir düşüş trendine girdiği gözlemlenmiştir.

Her bir vaka kapsamında altın fiyatlarının kriz öncesi ve sonrası davranışları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca 2026 ABD-İran gerilimi ayrı bir vaka olarak ele alınmış ve tarihsel örneklerle karşılaştırılmıştır. Bu yöntemin tercih edilme nedeni altın fiyatlarının yalnızca nicel verilerle değil, aynı zamanda tarihsel ve bağlamsal çerçevede değerlendirilmesinin daha kapsamlı sonuçlar sunmasıdır.

Elde edilen bulgular, altın fiyatlarının yalnızca jeopolitik riskler tarafından değil; küresel likidite koşulları, merkez bankası politikaları, finansal araçların çeşitlenmesi ve yatırımcı davranışları tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Bu durum, literatürde yer alan geleneksel güvenli liman yaklaşımının yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Çalışmanın teorik katkısı, altının güvenli liman rolünün statik değil dinamik bir yapı sergilediğini ortaya koymasıdır. Pratik açıdan ise yatırımcılar ve politika yapıcılar için altının kriz dönemlerindeki rolüne ilişkin daha temkinli bir yaklaşım benimsenmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmanın sınırlılıkları arasında veri kapsamı ve yöntemsel yaklaşım yer almakta olup, gelecekte yapılacak çalışmaların ekonometrik modellerle desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Altın, Jeopolitik Risk, Güvenli Liman, Finansal Piyasalar, Vaka Analizi

THE CHANGING RESPONSE OF GOLD PRICES DURING WARTIME: RE-EVALUATING GOLD'S SAFE-HAVEN STATUS

SUMMARY

This study aims to evaluate, from a contemporary perspective, whether gold retains the "safe-haven" status traditionally attributed to it—particularly under current financial market conditions and in the face of geopolitical risks. In financial literature, gold is typically favored by investors as a risk-hedging instrument during periods of war and crisis, with expectations that its price will rise. However, market behaviors observed in recent years suggest that this relationship has weakened and that the nature of gold's response to geopolitical shocks has undergone a structural shift.

This study employs the historical case study method, a form of qualitative research. Charts illustrating gold prices before and after periods of crisis and war were analyzed. In this context, the study examines six significant geopolitical events spanning the years 1939 to 2026: World War II, the Vietnam War, the 1973 Oil Crisis, the 1979 Soviet invasion of Afghanistan, the 1990 Gulf War, and the September 11 attacks of 2001.

From a historical perspective, the collapse of the classical monetary system during World War II established gold as an ultimate store of value, while the Vietnam War and the subsequent 1973 Oil Crisis positioned it as a hedge against dollar weakness and inflation. Gold hit a record high in real terms—reaching $850 per ounce—during the 1979 Soviet invasion, and the 9/11 attacks triggered a new bull market that lasted a decade. However, this historical pattern was disrupted by a theoretical break during the 2026 US-Iran tensions. In the first quarter of 2026, as tensions escalated and the risk of conflict peaked, gold prices entered a sharp downward trend instead of experiencing the anticipated rise.

For each case, the behavior of gold prices before and after the crisis was analyzed comparatively. Additionally, the 2026 US-Iran tension was examined as a distinct case study and compared with historical examples. This methodological approach was chosen because evaluating gold prices within a historical and contextual framework—rather than relying solely on quantitative data—yields more comprehensive results.

The findings indicate that gold prices are shaped not only by geopolitical risks but also by global liquidity conditions, central bank policies, the diversification of financial instruments, and investor behavior. This situation necessitates a re-evaluation of the traditional "safe-haven" approach found in the literature.

The study’s theoretical contribution lies in demonstrating that gold's role as a safe haven exhibits a dynamic rather than a static nature. From a practical perspective, it suggests that investors and policymakers should adopt a more cautious approach regarding gold's role during periods of crisis. However, the study is subject to limitations concerning data scope and methodological approach; therefore, it is recommended that future studies be supported by econometric models.

Keywords: Gold, Geopolitical Risk, Safe Haven, Financial Markets, Case Analysis

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

TRENDS AND LIMITATIONS OF GLASS CEILING SYNDROME STUDIES IN TURKEY: AN ANALYSIS OF GRADUATE THESES FOCUSED ON THE BANKING AND INSURANCE SECTORS

PINAR EVSEN
Yüksek Lisans Öğrencisi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bankacılık ve Sigortacılık Anabilim Dalı, Tokat-Türkiye, ORCID:0009-0007-6175-7153

ABSTRACT

The aim of this study is to examine graduate theses concerning the "glass ceiling syndrome" within the business and finance sectors in Turkey. The study seeks to identify the sectors most frequently researched within the scope of various academic departments and to reveal the areas where female employees are most affected on a sectoral basis. Within the scope of the research, a total of 226 theses—found in the Council of Higher Education (YÖK) National Thesis Center database and containing the phrase "glass ceiling syndrome" in their titles—were analyzed using a content analysis method based on document review. The theses were systematically analyzed in terms of type, year, university, research method, author gender, and associated concepts.

An examination of the distribution of the 226 graduate and doctoral theses by academic department reveals that the Department of Business Administration ranks first with 106 theses (46.90%). The Department of Educational Sciences ranks second with 29 theses (12.83%). The Department of Tourism Management ranks third with 15 theses (6.6%). The Department of Health Sciences ranks fourth with 12 theses (5.31%). The Department of Human Resources Management ranks fifth with 10 theses (4.42%). The study further lists the Department of Human Resources (10 theses, 4.42%), the Department of Physical Education and Sports (9 theses, 3.98%), and the Department of Public Administration (8 theses, 3.54%) in subsequent positions.

The findings indicate that research on the glass ceiling syndrome is predominantly concentrated at the master's level, while remaining limited at the doctoral level. Furthermore, the fact that this research is most heavily concentrated in the field of Business Administration clearly highlights issues regarding the representation of qualified women in upper-level positions; specifically, it reveals limited female representation in top-tier roles within the finance sector. The high prevalence of such studies in the field of education—ranking second—is by no means coincidental; it reflects a scenario where women frequently serve as educators but are underrepresented in senior leadership roles such as school principals or District Directors of National Education. This demonstrates that the subject is being addressed academically and that published master's and doctoral theses are complemented by industry-focused studies.

The findings gain further significance when evaluated within the context of the business and finance sectors. The finance sector is characterized by intense competition, a focus on performance, and hierarchical organizational structures, exhibiting a model where decision-making processes are concentrated at the senior management level. These characteristics create a structural environment that facilitates the emergence and persistence of the glass ceiling syndrome.

This paper aims to contribute to a holistic assessment of the invisible barriers faced by female executives in the business and finance sectors. It presents a strategic sectoral roadmap for future research.

Keywords: Glass ceiling syndrome, Business and finance sector, Female executives, Postgraduate thesis analysis

TÜRKİYE'DE CAM TAVAN SENDROMU ÇALIŞMALARININ EĞİLİMLERİ VE SINIRLILIKLARI: İŞLETME VE FİNANS SEKTÖRÜNE YÖNELİK LİSANSÜSTÜ TEZLERİN ANALİZİ

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de İşletme ve finans sektöründe cam tavan sendromu konulu lisansüstü tezlerin araştırılmasıdır. Anabilim Dalı Kapsamında en çok araştırma yapılan sektörleri tespit etmek kadın çalışanların sektörel bazda en çok etkilendikleri alanları ortaya çıkarmaktır. Araştırma kapsamında, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi veri tabanında yer alan ve başlığında "cam tavan sendromu" ifadesi geçen toplam 226 tez, doküman incelemesine dayalı içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Tezler; tür, yıl, üniversite, araştırma yöntemi, yazar cinsiyeti ve ilişkilendirilen kavramlar açısından sistematik olarak analiz edilmiştir.

İncelenen 226 lisansüstü ve doktora tezlerinin Anabilim dalına göre dağılımına bakıldığında İşletme Anabilim Dalı alanında 106 tez ve %46,90 oranıyla ilk sırada yer almaktadır. Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı Alanında 29 tez ve %12,83 oranıyla ikinci sırada yer almaktadır. Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı Alanında 15 tez ile %6,6 üçüncü sırada temsil edilmektedir. Sağlık Bilimleri Anabilim Dalı 12 tez ile %5,31 oranında dördüncü sırada yer almaktadır. İnsan Kaynakları Yönetimi Anabilim dalı 10 tez ile %4,42 oranında beşinci sırada yer almaktadır. Araştırma da sırasıyla İnsan Kaynakları Anabilim Dalı 10 tez ile %4,42,Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı 9 tez ile %3,98 ,Kamu Yönetimi Anabilim Dalı 8 tez ile %3,54 oranında yer almaktadır.

Elde edilen bulgular, cam tavan sendromu çalışmalarının büyük ölçüde yüksek lisans düzeyinde yoğunlaştığını, doktora düzeyinde ise sınırlı kaldığını göstermektedir. Ayrıca cam tavan sendromunun birinci sırada İşletme Anabilim Dalında yoğunlaşması; nitelikli kadın gücünün üst kademelerde temsili konusunda sorun olduğunu, Finans alanında kadın çalışanların tek söz sahibi olduğu üst pozisyonlarda temsillerinin sınırlandırıldığını açıkça göstermektedir. İkinci sırada eğitim alanında yüksek yüzdelik oranına sahip olması tesadüften uzak eğitim alanında da kadın çalışanların eğitimci rolünde görev yapmalarını ancak okul müdürü, İlçe Milli Eğitim Müdürü gibi üst pozisyonlarda görev yapan kadın çalışan sayısının azlığını göstermektedir. Bu durum, konunun akademik olarak ele alındığını yayınlanan yüksek lisans ve doktora tezlerinin sektör çalışmaları ile desteklendiğini ortaya koymaktadır.

Bulgular İşletme ve Finans sektörü bağlamında değerlendirildiğinde daha da anlam kazanmaktadır.Finans sektörü, yüksek rekabet düzeyi, performans odaklılık ve hiyerarşik örgüt yapıları ile karakterize edilen bir alan olup, karar alma süreçlerinin üst yönetim düzeyinde yoğunlaştığı bir yapı sergilemektedir. Bu özellikler, cam tavan sendromunun ortaya çıkmasını ve sürdürülmesini kolaylaştıran yapısal bir zemin oluşturmaktadır.

Bu bildiri işletme ve finans sektöründe kadın yöneticilerin karşılaştığı görünmeyen engellerin bütüncül bir perspektifle değerlendirilmesine katkı sağlamaktır. Gelecekte ki araştırmalar için sektörel olarak stratejik bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelime; Cam tavan sendromu, İşletme ve Finans Sektörü, Kadın Yöneticiler, Lisansüstü tez analizi

BRICS+ EKONOMİLERİ VE TÜRKİYE'DE HÜKÜMET YAPAY ZEKA HAZIRLIĞININ BÜTÜNLEŞİK LOGSTA–MUNRA ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME MODELİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ömer ATALAY
Kafkas University Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, 37150 Merkez, Kars
ORCID ID: 0000-0003-0616-3663

ÖZET
Yapay zeka, kamu yönetiminde verimliliği ve hizmet kalitesini dönüştüren stratejik bir teknoloji haline gelmiştir; ancak ülkelerin bu dönüşüme hazırlık düzeyleri önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, BRICS+ ekonomileri ile BRICS'e katılım talebinde bulunan Türkiye'nin hükümet düzeyindeki yapay zeka hazırlığını çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımıyla değerlendirmektir. Çalışma kapsamında yer alan 12 ülke için veriler, güncellenmiş "Oxford Insights 2025 Hükümet Yapay Zeka Hazırlık Endeksi"nden (Oxford Insights Government AI Readiness Index 2025) alınmıştır. Analiz, endeksin altı temel bileşenden oluşan yeni yapısına dayanmaktadır: politika kapasitesi, yapay zeka altyapısı, yönetişim, kamu sektöründe benimsenme, geliştirme ve yayılım, ve dayanıklılık. Kriter ağırlıkları, 2025 yılında önerilen nesnel bir ağırlıklandırma yöntemi olan LOGSTA ile belirlenmiştir. On iki ülkenin sıralaması ise doğrusal, vektör ve doğrusal olmayan normalizasyonu bir arada kullanan ve 2025 yılında önerilen MUNRA yöntemiyle yapılmıştır. Yapay zeka altyapısı en yüksek ağırlığı (0,191) alırken, yönetişim en düşük ağırlığa (0,144) sahip olmuştur. Ağırlıkların dar bir aralıkta dağılması, kriterlerin bilgi içeriğinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Çin, Suudi Arabistan ve Brezilya ilk üç sırada yer alırken, Etiyopya son sırada, Türkiye ise sekizinci sırada bulunmaktadır. Türkiye, kamu sektöründe benimsenme konusunda grup medyanının üzerinde yer alırken; yapay zeka altyapısı, geliştirme ve yayılım ile dayanıklılık konularında medyanın altında kalmaktadır. Elde edilen sıralama, Oxford sıralamasıyla yüksek derecede tutarlılık göstermektedir (Spearman $\rho = 0,958$); bununla birlikte Mısır, Rusya ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkelerin sıralamalarında değişimler gözlemlenmiştir. Bu çalışma, yapay zeka hazırlık düzeyini değerlendirmek için literatürde oldukça yeni olan LOGSTA ve MUNRA yöntemlerini birleştiren ilk uygulamalardan biri olup, politika yapıcılara öncelik belirleme konusunda nesnel bir çerçeve sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Yapay Zeka Hazırlığı, BRICS+, ÇKKV, LOGSTA, MUNRA

ASSESSING GOVERNMENT AI READINESS IN BRICS+ ECONOMIES AND TÜRKİYE USING THE INTEGRATED LOGSTA–MUNRA MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL

ABSTRACT
Artificial intelligence (AI) has emerged as a strategic technology that transforms efficiency and service quality in public administration; however, the levels of readiness for this transformation vary significantly across countries. This study aims to evaluate the government-level AI readiness of BRICS+ economies—along with Türkiye, which has applied to join the bloc—using a multi-criteria decision-making (MCDM) approach. Data for the 12 countries included in the study were sourced from the updated "Oxford Insights Government AI Readiness Index 2025." The analysis is based on the index's revised structure, which consists of six core

components: policy capacity, AI infrastructure, governance, public sector adoption, Development & Diffusion, and resilience. Criterion weights were determined using LOGSTA, an objective weighting method proposed in 2025. The ranking of the 12 countries was conducted using the MUNRA method—also proposed in 2025—which integrates linear, vector, and non-linear normalization techniques. AI infrastructure received the highest weight (0.191), while governance received the lowest (0.144). The narrow distribution of these weights indicates that the criteria possess similar levels of information content. China, Saudi Arabia, and Brazil occupy the top three positions, while Ethiopia ranks last, and Türkiye ranks eighth. While Türkiye ranks above the group median in terms of adoption within the public sector, it falls below the median in areas such as AI infrastructure, Development & Diffusion, and resilience. The resulting rankings show a high degree of consistency with the Oxford rankings (Spearman $\rho = 0.958$); however, variations in the rankings of countries such as Egypt, Russia, and the United Arab Emirates have been observed. This study represents one of the first applications to combine the LOGSTA and MUNRA methods—both relatively new in the literature—to assess AI readiness, providing policymakers with an objective framework for setting priorities.

Keywords: AI Readiness, BRICS+, MCDM, LOGSTA, MUNRA

TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ KAPSAMINDA 6. SINIF BİYOÇEŞİTLİLİK KONUSUNDA YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DİJİTAL OYUN TABANLI ÖĞRETİMİN AKADEMİK BAŞARIYA VE YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK TUTUMA ETKİSİ*

Fen Bilimleri Öğretmeni Dilek KİTİR
Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4919-5956
Prof. Dr. Esra BENLİ ÖZDEMİR
Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2246-2420

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli çerçevesinde yürütülen yapay zekâ destekli dijital oyun tabanlı öğretimin 6. sınıf öğrencilerinin akademik başarıları ve yapay zekâya yönelik tutumları üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırmada nicel araştırma yöntemlerinden ön test-son test kontrol gruplu deneysel desen kullanılmıştır. Araştırmada deney ve kontrol gruplarından elde edilen ön test ve son test verileri karşılaştırılmıştır. Çalışma grubunu deney grubunda 13, kontrol grubunda 13 olmak üzere toplam 26 öğrenci oluşturmuştur. Verilerin analizinde ilişkisiz ve ilişkili örneklemler için t testleri kullanılmış; etki büyüklükleri Cohen'in d katsayısıyla değerlendirilmiştir. Normallik incelemesinde Shapiro-Wilk testi ile çarpıklık ve basıklık katsayıları birlikte ele alınmıştır. Verilerin normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Akademik başarı ön test puanları bakımından gruplar arasında anlamlı fark bulunmazken son test puanları deney grubu lehine anlamlı farklılık göstermiştir ($t_{(24)} = 4.041$, $p < .001$, $d = 1.585$). Deney grubunun başarı puanları ön testten son teste anlamlı biçimde artmıştır. Yapay zekâya yönelik tutum son testinde ise bilişsel, duygusal, davranışsal boyutlar ve toplam puan bakımından deney grubu lehine anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Bulgular, yapay zekâ destekli dijital oyun tabanlı öğretimin akademik başarı ve yapay zekâya yönelik tutum açısından olumlu sonuçlarla ilişkili olduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, dijital oyun tabanlı öğretim, akademik başarı, yapay zekâya yönelik tutum, fen eğitimi.

THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED DIGITAL GAME-BASED LEARNING ON ACADEMIC ACHIEVEMENT AND ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING BIODIVERSITY TO SIXTH-GRADE STUDENTS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE CENTURY OF TÜRKİYE EDUCATION MODEL

ABSTRACT
The aim of this study is to examine the effect of artificial intelligence (AI)-supported digital game-based instruction, implemented within the framework of the Century of Türkiye Education Model, on sixth-grade students' academic achievement and attitudes toward AI. A pretest-posttest control group experimental design, one of the quantitative research designs, was employed in the study. Pretest and posttest data obtained from experimental and control groups were compared. The study group consisted of 26 students, including 13 in the experimental group and 13 in the control group. Independent-samples and paired-samples *t* tests were used

to analyze the data, and effect sizes were evaluated using Cohen's *d*. Normality was assessed using the Shapiro-Wilk test alongside skewness and kurtosis coefficientsAlthough no statistically significant difference was found between the groups' academic achievement pretest scores, posttest scores differed significantly in favor of the experimental group ($t(24) = 4.041$, $p < .001$, $d = 1.585$). The experimental group also demonstrated a significant increase in academic achievement from pretest to posttest. Significant differences favoring the experimental group were found in the cognitive, affective, and behavioral dimensions of attitudes toward AI, as well as in the total attitude score. The findings suggest that AI-supported digital game-based instruction is associated with positive outcomes in academic achievement and attitudes toward AI.

Keywords: Artificial intelligence, digital game-based instruction, academic achievement, attitudes toward artificial intelligence, science education.

KRİPTO VARLIKLARIN SAKLANMASINDAN DOĞAN RİSKLERİN SİGORTALANMASI: DİJİTAL VARLIK SAKLAMA KURULUŞLARININ SORUMLULUĞU

Dr. Pelin Atila Yörük
Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Adalet Meslek Yüksekokulu
Orcid:0000-0001-9474-4454

Özet
Kripto varlıkların ekonomik ve ticari faaliyetlerde giderek daha fazla kullanılması, bu varlıkların güvenli biçimde saklanmasına ilişkin hukuki sorunları ve risklerin sigorta yoluyla yönetilmesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Özellikle siber saldırılar, özel anahtarların kaybedilmesi veya ele geçirilmesi, yetkisiz transferler ve saklama altyapısındaki teknik aksaklıklar, kripto varlık sahiplerinin önemli ekonomik kayıplara uğramasına neden olabilmektedir. Bu çerçevede, dijital varlık saklama kuruluşlarının hukuki sorumluluğunun belirlenmesi ve söz konusu sorumluluğun sigorta koruması kapsamında değerlendirilmesi önem taşımaktadır.
Bu çalışmanın amacı, kripto varlıkların saklanması sırasında ortaya çıkan risklerin sigortalanabilirliğini, saklama kuruluşlarının sorumluluğunun hukuki niteliğini ve sigorta teminatının sınırlarını incelemektir. Çalışmada, Türk hukuku bakımından sözleşmesel sorumluluk, özen yükümlülüğü, zarar ile uygun illiyet bağı ve sigortalanabilir menfaat kavramları ele alınacaktır. Ayrıca saklama kuruluşlarının siber güvenlik önlemlerindeki eksikliklerinin, üçüncü kişilerin gerçekleştirdiği saldırıların ve teknik sistem arızalarının sorumluluğun belirlenmesine etkisi değerlendirilecektir. Karşılaştırmalı hukuk kapsamında ise Avrupa Birliği'nin kripto varlık piyasalarına ilişkin düzenlemeleri ile dijital varlık saklama hizmetlerinde uygulanan risk yönetimi ve sigorta koruması yaklaşımlarının incelenmesi hedeflenmektedir.
Çalışma sonucunda, kripto varlıkların saklanmasından doğan zararların karşılanmasında sigorta sözleşmelerinin işlevi ve sınırlarının ortaya konulması; saklama kuruluşlarının yükümlülükleri ile sigortacının teminat sorumluluğu arasındaki ilişkinin açıklığa kavuşturulması amaçlanmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kripto varlıklar, dijital varlık saklama kuruluşları, sigorta hukuku, siber riskler, hukuki sorumluluk, sigorta teminatı.

INSURING RISKS ARISING FROM THE CUSTODY OF CRYPTO-ASSETS: LIABILITY OF DIGITAL ASSET CUSTODY PROVIDERS

Abstract
The increasing use of crypto-assets in economic and commercial activities has given rise to legal challenges concerning the secure custody of these assets and the need to manage associated risks through insurance. In particular, cyberattacks, the loss or compromise of private keys, unauthorized transfers, and technical failures in custody infrastructure may expose crypto-asset holders to significant financial losses. In this context, determining the legal liability of digital asset custody providers and assessing the extent to which such liability may be covered by insurance are of considerable importance.
This study aims to examine the insurability of risks arising from the custody of crypto-assets, the legal nature of custody providers' liability, and the limits of insurance coverage. From the

perspective of Turkish law, the study will address contractual liability, the duty of care, adequate causation, and the concept of insurable interest. It will also assess how deficiencies in cybersecurity measures, attacks carried out by third parties, and technical system failures may affect the determination of liability. From a comparative law perspective, the study will examine the European Union's regulatory framework for crypto-asset markets, together with approaches to risk management and insurance protection applicable to digital asset custody services.

The study seeks to clarify the function and limitations of insurance contracts in compensating losses arising from the custody of crypto-assets and to explain the relationship between custody providers' legal obligations and insurers' liability for coverage. Ultimately, it aims to contribute to the legal assessment of emerging risks in digital asset custody and the development of an effective insurance framework for protecting crypto-asset holders.

Keywords: Crypto-assets, digital asset custody providers, insurance law, cyber risks, legal liability, insurance coverage.

ALÜMINYUM OKSIT NANOPARTIKÜLÜNÜN TATLI SU MIDYESI UNIO DELICATUS'UN HEMOSIT SAYISI VE PROTEIN DÜZEYI ÜZERINE ETKISI

MSc Student Lailim SALAMATKYZY
Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Environme ntal Sciences, Master's Student, Ankara
ORCID ID: 0009-0004-6570-1569
Assoc. Prof. Dr. Gülbin FERİDUN
Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Environme ntal Sciences, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-7012-0900
Assoc. Prof. Dr. Göktuğ GÜL
Gazi University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, Ankara
ORCID ID: 0000-0003-1925-0803
Asst. Prof. Dr. Pınar ARSLAN YÜCE
Çankırı Karatekin University, Faculty of Science, Department of Biology, Çankırı
ORCID ID: 0000-0001-5910-2835
Beran FERİDUN
Gazi University, Gazi Faculty of Education, Department of Science Education, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-2103-6147
Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL
Gazi University, Gazi Faculty of Education, Department of Biology Education, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-9072-543X

ÖZET

Alüminyum oksit (Al_2O_3) nanopartikülleri, endüstriyel ve teknolojik alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olup sucul organizmaların fizyolojik ve metabolik işleyişini etkileyebilmektedir. Midyelerde toplam hemosit sayısı (THS), bağışıklık sisteminin işleyişi ve hücresel savunma mekanizmalarının değerlendirilmesinde; toplam protein düzeyleri ise organizmaların fizyolojik durumu ve metabolik faaliyetlerinin belirlenmesinde önemli biyobelirteçlerdir. Bu çalışmada, tatlı su midyesi Unio delicatus 1 ve 50 mg/L Al_2O_3 konsantrasyonlarına 7 ve 21 gün süreyle maruz bırakılmış; toplam hemosit sayısı ile solungaç ve sindirim bezlerindeki toplam protein düzeyleri incelenmiştir. Bulgulara göre, toplam hemosit sayısı kontrol grubuna kıyasla 7 günlük maruziyet süresinde her iki derişimde önemli düzeyde azalırken, 21 günlük sürede önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$). Hemolenf protein düzeyi, 7 günlük maruziyet sonunda kontrol grubuna kıyasla her iki Al_2O_3 derişiminde de anlamlı düzeyde artış göstermiş, 21 günlük maruziyet sonunda ise her iki derişimde de 7 günlük maruziyet süresine kıyasla anlamlı düzeyde azalmıştır ($P<0,05$). Solungaç protein düzeyi 21 günlük sürede 50 mg/L Al_2O_3 derişiminde kontrol grubuna göre önemli düzeyde azalmıştır ($P<0,05$). Sonuç olarak, Al_2O_3'in U. delicatus'ta maruziyet süresine ve derişime bağlı olarak toplam hemosit sayısı ve protein düzeyinde değişikliklere neden olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenen "Titanyum ve Alüminyum Oksit Nanopartiküllerinin Unio delicatus Üzerindeki Toksik Etkileri" başlıklı yüksek lisans tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Unio delicatus, Alüminyum oksit nanopartikülü, Toplam hemosit sayısı, Toplam protein

THE EFFECT OF ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES ON HEMOCYTE COUNT AND PROTEIN LEVELS IN THE FRESHWATER MUSSEL UNIO DELICATUS

ABSTRACT

Aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles are widely used in industrial and technological applications and may affect the physiological and metabolic processes of aquatic organisms. In mussels, the total hemocyte count (THC) is an important biomarker for assessing immune system function and cellular defense mechanisms, while total protein levels are indicative of the physiological condition and metabolic activities of organisms. In this study, the freshwater mussel Unio delicatus was exposed to Al_2O_3 concentrations of 1 and 50 mg/L for 7 and 21 days. The total hemocyte count and total protein levels in the gills and digestive gland were investigated. According to the findings, the total hemocyte count decreased significantly at both concentrations after 7 days of exposure compared with the control group, whereas a significant increase was observed after 21 days ($P<0,05$). Hemolymph protein levels increased significantly at both concentrations after 7 days compared with the control group, while a statistically non-significant decrease was observed after 21 days ($P<0,05$). Gill protein levels decreased significantly at a concentration of 50 mg/L Al_2O_3 after 21 days of exposure compared with the control group ($P<0.05$). In conclusion, Al_2O_3 was found to cause changes in the total hemocyte count and protein levels in U. delicatus, depending on the exposure duration and concentration.

This study was conducted within the scope of the master's thesis project entitled “Toxic Effects of Titanium and Aluminum Oxide Nanoparticles on Unio delicatus”, supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit (BAP) of Gazi University.

Keywords: *Unio delicatus, Aluminum oxide nanoparticles, Total hemocyte count, Total protein.*

KENTSEL SÜREKLİLİK VE DÖNÜŞÜM BAĞLAMINDA GAZİANTEP'TE İMAR POLİTİKALARININ İNCELENMESİ

Lect. Dr. Zeynep ATAŞ
Gaziantep University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 27310 Şehitkamil, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0001-1700-8480

ÖZET

Gaziantep kentinde imar faaliyetleri, tarihsel süreç boyunca farklı dönemlerin siyasal, toplumsal ve ekonomik dinamikleriyle şekillenmiş; bu nedenle kentin mekânsal örgütlenmesi hem süreklilik hem de dönüşüm unsurları taşımıştır. Bu çalışma, Gaziantep'in farklı tarihsel dönemlerde geçirdiği mekânsal değişimleri, imar politikaları ile toplumsal ve ekonomik dinamikler arasındaki etkileşim üzerinden incelemektedir. Çeşitli dönemlerde alınan imar kararları doğrultusunda kentsel gelişimin incelenmesi, Gaziantep örneği üzerinden toplumun mekânsal kullanımı ile yönetimlerin imar politikaları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Osmanlı döneminde imar faaliyetleri, dini ve ticari işlevlerin merkezde yoğunlaştığı, mezarlıkların kentin çeperlerinde konumlandırıldığı, ticaret ve konut dokusunun ise topografyayla uyumlu biçimde iç içe geliştiği bir düzen ortaya koymuştur. Cumhuriyet döneminde modernleşme idealleri çerçevesinde ulaşım akslarının düzenlenmesi, yeni kamusal yapıların inşası ve ticaretin merkezden dışa taşınması gibi kararlar alınmış; ancak bunların bir kısmı ekonomik, toplumsal ve mekânsal koşullar nedeniyle uygulanamamıştır. Buna karşın yol genişletmeleri ve yeni yapılaşma alanlarının açılması gibi bazı uygulamalar kentin mekânsal formunu kalıcı biçimde dönüştürmüştür.

Günümüzde ise imar politikaları, kentin çeperlerinde yeni kurulan mahalleler ve bu mahalleler arasındaki bağlantıları güçlendirmeye yönelik yol genişletmeleri, merkezde yayalaştırılmış veya yayalaştırılması planlanan bölgeler ile otopark alanlarının artırılması gibi kararlar üzerinden şekillenmektedir. Bu kararların bir kısmı tarihi doku ile modern kentsel ihtiyaçlar arasında denge kurarken, bazıları kentsel kimliğin zayıflamasına ve sosyal yaşamın parçalanmasına neden olmaktadır.

Çalışmanın bulguları, Gaziantep'te imar faaliyetlerinin tarihsel süreklilik içerisinde birbirine eklemlenen, ancak dönemsel kırılmalarla farklılaşan bir karakter sergilediğini göstermektedir. Planlama kararları ile gerçekleşen mekânsal dönüşümler arasındaki farklılıklar, kentsel gelişimin toplumsal, ekonomik ve fiziksel koşullarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, Gaziantep örneği, kentlerdeki imar politikalarının yalnızca fiziksel düzenlemelerden ibaret olmadığını; aynı zamanda sosyo-kültürel süreklilik, kimlik ve yaşam kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, tarihsel analiz ile güncel uygulamaları birlikte ele alarak kentsel planlamaya bilimsel ve eleştirel bir katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Gaziantep, İmar Politikaları, Kentsel Dönüşüm, Kentsel Süreklilik, Mekansal Gelişim

PLANNING POLICIES IN GAZİANTEP IN THE CONTEXT OF URBAN CONTINUITY AND TRANSFORMATION

ABSTRACT

Urban development activities in the city of Gaziantep have been shaped throughout history by the political, social, and economic dynamics of different periods; thus, the city's spatial organization embodies both elements of continuity and transformation. This study examines the spatial transformation of Gaziantep across different historical periods through the interaction between planning policies and socio-economic dynamics.

During the Ottoman period, urban planning was characterized by the concentration of religious and commercial functions in the city center, the placement of cemeteries along the periphery, and the interwoven development of commercial and residential fabrics in harmony with the topography. During the Republican period, modernization ideals led to decisions concerning the reorganization of transportation axes, the construction of new public buildings, and the relocation of commercial activities from the center toward peripheral areas. However, some of these decisions could not be implemented due to economic, social, and spatial constraints. In contrast, some interventions—such as road widening and the opening of new development areas—permanently reshaped the city's spatial form.

Today, planning policies focus on road expansions connecting newly developing peripheral neighborhoods, pedestrianization in the city center, and additional parking areas. While some of these interventions balance the preservation of the historic fabric with contemporary urban needs, others contribute to the weakening of urban identity and the fragmentation of social life. The findings demonstrate that urban development in Gaziantep is embedded in historical continuity while also being marked by periodic ruptures. Differences between planning decisions and actual spatial transformations indicate that urban development should be evaluated together with the social, economic, and physical conditions affecting their implementation. Ultimately, the Gaziantep case demonstrates that planning policies are not merely physical interventions but are directly related to socio-cultural continuity, urban identity and quality of life.

Keywords: Gaziantep, Planning Policies, Urban Transformation, Urban Continuity, Spatial Development

BAĞIMLILIKTAN İYİLEŞMEDE ANLAM ARAYIŞI VE YAŞAM AMACI

Dr. Buşra Bahar Çokyaman
Klinik Psikolog, PhD
Düzce Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü, Düzce, Türkiye
ORCID ID: 0009-0007-4519-045X

ÖZET
Bağımlılıktan iyileşme, yalnızca madde kullanımının sonlandırılması değil, bireyin yaşamını yeniden yapılandırdığı, geleceğe ilişkin hedeflerini gözden geçirdiği ve kendisi için yeni anlam kaynakları oluşturduğu çok boyutlu bir süreçtir. Bu süreçte yaşam amacı ve yaşamda anlam, psikolojik iyileşmenin önemli bileşenleri arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yaşamda anlamın varlığı ile anlam arayışının aynı psikolojik süreci ifade etmediği ve bağımlılıktan iyileşmenin farklı aşamalarında farklı işlevlere sahip olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bağımlılıktan iyileşme sürecinde anlam arayışı ve yaşam amacının rolünü güncel araştırmalar doğrultusunda incelemektir. Mevcut bulgular, yaşamını anlamlı ve amaçlı olarak deneyimleyen bireylerin daha olumlu psikolojik uyum, daha yüksek iyi oluş ve daha güçlü iyileşme göstergeleri sergileyebildiğini göstermektedir. Buna karşılık, iyileşmenin özellikle erken dönemlerinde kişinin önceki yaşam biçiminden uzaklaşması, kimliğini ve önceliklerini yeniden değerlendirmesi yoğun bir anlam arayışını beraberinde getirebilmektedir. Bu nedenle anlam arayışının her durumda olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmemesi, bireyin yaşamında mevcut bir anlam duygusuna sahip olup olmadığından ayrı ele alınması önem taşımaktadır. Literatürde bu kavramların çoğunlukla kesitsel olarak incelenmesi, iyileşme sürecindeki zamansal değişimlerin yeterince açıklanamamasına yol açmaktadır. Bağımlılıktan iyileşmenin yalnızca yoksunluk süresi veya madde kullanımındaki azalma üzerinden değil, bireyin yaşamında yeniden amaç ve anlam oluşturabilmesi açısından da değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: bağımlılık, bağımlılıktan iyileşme, yaşam amacı, yaşamda anlam, anlam arayışı

SEARCH FOR MEANING AND PURPOSE IN LIFE IN ADDICTION RECOVERY

ABSTRACT
Recovery from addiction is a multidimensional process that extends beyond stopping substance use and involves rebuilding one’s life, reconsidering future goals, and developing new sources of meaning. Purpose in life and meaning in life are increasingly recognized as important components of psychological recovery. However, the presence of meaning and the search for meaning do not represent the same psychological process and may serve different functions at different stages of recovery. This narrative review examines the roles of search for meaning and purpose in life in recovery from substance use problems. Current evidence suggests that experiencing life as meaningful and purposeful is associated with more adaptive psychological functioning, greater well-being, and stronger indicators of recovery. In contrast, particularly during early recovery, distancing oneself from a previous lifestyle and reconsidering identity, priorities, and future direction may intensify the search for meaning. Therefore, searching for meaning should not automatically be interpreted as a positive indicator and should be distinguished from already having a stable sense of meaning. The literature is still dominated

by cross-sectional studies, limiting conclusions regarding how these constructs change over the course of recovery. Recovery should therefore be evaluated not only in terms of abstinence duration or reductions in substance use, but also in terms of the individual's capacity to reconstruct purpose, direction, and meaning in everyday life.
Keywords: addiction, recovery, purpose in life, meaning in life, search for meaning

KİŞİLİĞİMİZE UYGUN AMAÇLARI MI SEÇİYORUZ? KİŞİLİK-AMAÇ UYUMUNDAN AMAÇ SAHİPLİĞİ VE PSİKOLOJİK UYUMA UZANAN KURAMSAL BİR MODEL

Dr. Buşra Bahar Çokyaman
Klinik Psikolog, PhD
Düzce Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü, Düzce
ORCID ID: 0009-0007-4519-045X

ÖZET

İnsanların hangi amaçları seçtiği, yalnızca içinde bulundukları sosyal koşulların değil, kişilik örüntülerinin, değerlerinin ve motivasyon düzenlemelerinin de bir ürünüdür. Bununla birlikte, kişilik özellikleri ile yaşam amaçları arasındaki ilişkiyi ele alan literatür çoğu zaman amaçların içeriğine odaklanırken, seçilen bir amacın kişinin benliğiyle ne ölçüde uyumlu olduğu ve ne ölçüde özerk biçimde sahiplenildiği ayrı araştırma gelenekleri içinde incelenmiştir. Bu kuramsal çalışmanın amacı, kişilik özellikleri, amaç seçimi, kişilik-amaç uyumu, amaçların özerk biçimde benimsenmesi ve psikolojik uyum arasındaki bağlantıları bütünleştiren bir kavramsal model önermektir. Çalışma özgün veri toplama veya istatistiksel analiz içermeyen anlatısal bir kuramsal inceleme olarak yapılandırılmıştır. Beş Faktör Kişilik Modeli, kişisel projeler ve kişisel çabalar yaklaşımları, yaşam amaçları literatürü, Öz-Belirleme Kuramı ve self-concordance modeli temel kuramsal dayanaklar olarak ele alınmıştır. Literatür, kişilik özelliklerinin belirli amaç alanlarıyla sistematik biçimde ilişkili olabildiğini ve kişilik ile amaçların yaşam boyunca birlikte değişebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bir amacın kişinin kişilik eğilimleriyle uyumlu olması, o amacın mutlaka içsel değerler ve özerk seçim temelinde benimsendiği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle çalışmada "amaç sahipliği", self-concordance, özerk motivasyon ve içselleştirme literatürlerini bir araya getiren bütünleştirici bir çalışma kavramı olarak kullanılmaktadır. Önerilen model, kişilik özelliklerinden amaç seçimine, kişilik-amaç uyumundan amaç sahipliğine ve buradan psikolojik uyuma uzanan olası bağlantıları açıklamaktadır. Modeldeki yollar nedensel olarak doğrulanmış ilişkiler değil, mevcut bulgulardan türetilen ve gelecekte ampirik olarak sınanması gereken kuramsal önermelerdir.

Anahtar Kelimeler: kişilik özellikleri, yaşam amaçları, kişilik-amaç uyumu, amaç sahipliği, self-concordance, psikolojik uyum

DO WE CHOOSE GOALS THAT FIT OUR PERSONALITY? A THEORETICAL MODEL FROM PERSONALITY-GOAL FIT TO GOAL OWNERSHIP AND PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT

ABSTRACT

The goals people choose are shaped not only by the social conditions in which they live, but also by their personality patterns, values, and motivational regulations. However, while the literature examining the relationship between personality traits and life goals has often focused on goal content, the extent to which a selected goal is congruent with the individual's sense of self and the extent to which it is autonomously endorsed have generally been examined within separate research traditions. The aim of this theoretical study is to propose a conceptual model that integrates the relationships among personality traits, goal selection, personality-goal fit, the autonomous endorsement of goals, and psychological adjustment. The study is structured as a narrative theoretical review that does not involve original data collection or statistical analysis.

The Five-Factor Model of Personality, personal projects and personal strivings approaches, the literature on life goals, Self-Determination Theory, and the self-concordance model are considered the main theoretical foundations. The literature indicates that personality traits may be systematically associated with particular goal domains and that personality and goals may change together across the lifespan. However, the fact that a goal is compatible with an individual's personality tendencies does not necessarily mean that it is adopted on the basis of intrinsic values and autonomous choice. Therefore, in this study, “goal ownership” is used as an integrative working concept that brings together the literatures on self-concordance, autonomous motivation, and internalization. The proposed model explains possible links extending from personality traits to goal selection, from personality-goal fit to goal ownership, and from goal ownership to psychological adjustment. The pathways included in the model are not presented as causally established relationships, but as theoretical propositions derived from existing findings that require empirical testing in future research.
Keywords: personality traits, life goals, personality-goal fit, goal ownership, self-concordance, psychological adjustment

KANT'IN EĞİTİM ANLAYIŞINDA BİLGİNİN DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜCÜ: DİSİPLİN, ÖZGÜRLÜK VE AHLAKİ SORUMLULUK

Dr. Muhammed SALİHOĞLU
Milli Eğitim Bakanlığı, İpekyolu, Van
ORCID ID: 0000-0003-3381-8047

ÖZET
Immanuel Kant'ın Eğitim Üzerine adlı eserinde eğitim, insanın doğal yetilerini geliştiren, aklını kullanmasını sağlayan ve ahlaki karakterinin oluşumuna katkıda bulunan temel bir süreç olarak ele alınmaktadır. Bu araştırmanın amacı, eserde eğitimin dönüştürücü işlevinin disiplin, özgürlük ve ahlaki sorumluluk kavramları üzerinden nasıl temellendirildiğini incelemektir. Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde doküman incelemesi ve kavramsal çözümleme yöntemleri benimsenmiş; Kant'ın eğitim, öğretim, disiplin, karakter gelişimi ve ahlak eğitimi hakkındaki değerlendirmeleri birbiriyle ilişkili biçimde ele alınmıştır. İnceleme, Kant'ın eğitimi yalnızca bilgi ve beceri kazandırma faaliyetine indirgemediğini; bireyin akıl yürütme, yargıda bulunma ve davranışlarını ilkelere göre yönlendirme yetilerini geliştirmeyi amaçladığını göstermektedir. Bu bağlamda disiplin, çocuğun doğal eğilimlerini sınırlayan bir başlangıç koşulu olmakla birlikte eğitimin nihai hedefi olarak sunulmamaktadır. Esas amaç, bireyin özgürlüğünü başkalarının özgürlüğüyle bağdaşacak şekilde kullanabilmesi ve dışsal yönlendirmeye bağımlı kalmadan sorumluluk üstlenebilmesidir. Ahlaki eğitim ise yalnızca kurallara görünüşte uyum sağlanmasıyla değil, eylemlerin akla dayalı ilkeler ve ödev bilinci doğrultusunda şekillenmesiyle ilişkilendirilmektedir. Eserde çocukların sadece yaşadıkları dönemin koşullarına uyum sağlayacak biçimde değil, insanlığın gelecekte ulaşabileceği daha iyi bir duruma katkıda bulunacak şekilde yetiştirilmesi gerektiği de vurgulanmaktadır. Sonuç olarak Kant'ın eğitim anlayışında bilginin dönüştürücü değeri, salt zihinsel birikimde değil, özgürlüğünü bilinçli kullanan, ahlaki yargı geliştiren ve eylemlerinin sorumluluğunu üstlenen insanın yetiştirilmesinde belirginleşmektedir.
Anahtar kelimeler: Kant, eğitim felsefesi, disiplin, ahlak

THE TRANSFORMATIVE POWER OF KNOWLEDGE IN KANT'S ON EDUCATION: DISCIPLINE, FREEDOM, AND MORAL RESPONSIBILITY

ABSTRACT
In Immanuel Kant's On Education, education is presented as a fundamental process through which human capacities are developed, the use of reason is cultivated, and moral character is formed. This study aims to examine how the transformative role of education is grounded in the concepts of discipline, freedom, and moral responsibility. Using a qualitative approach, the study adopts document analysis and conceptual interpretation to explore Kant's discussions of education, instruction, discipline, character formation, and moral cultivation as interconnected dimensions. The analysis indicates that Kant does not reduce education to the transmission of knowledge and skills; rather, he emphasizes the development of the individual's ability to reason, make judgments, and guide actions according to principles. In this framework, discipline serves as an initial means of restraining unregulated impulses, yet it does not constitute the ultimate aim of education. The central task is to enable individuals to exercise their freedom in ways compatible with the freedom of others and to assume responsibility without permanent dependence on external direction. Moral education is therefore associated not merely with outward conformity to rules but with the formation of conduct guided by

rational principles and a sense of duty. The work also stresses that children should be educated not simply to adapt to existing social conditions but to contribute to a potentially better future for humanity. The study concludes that the transformative value of knowledge in Kant's account of education lies not in intellectual accumulation alone but in the cultivation of persons capable of exercising freedom reflectively, forming moral judgments, and taking responsibility for their actions.

Keywords: Kant, philosophy of education, discipline, moral

PLATON'UN DEVLET'İNDE EĞİTİMİN ADALET VE SİYASAL DÜZENİN İNŞASINDAKİ İŞLEVİ

Dr. Muhammed SALİHOĞLU
Milli Eğitim Bakanlığı, İpekyolu, Van
ORCID ID: 0000-0003-3381-8047

ÖZET

Platon'un Devlet adlı eserinde eğitim, bireyin bilgi edinmesinin ötesinde, adil bir siyasal düzenin kurulmasını ve sürekliliğini sağlayan kurucu bir etkinlik olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Platon'un eğitim anlayışının ahlaki karakterin biçimlenmesi, ruhun düzenlenmesi ve devletin yönetimi arasındaki ilişkisini ortaya koymaktır. Bu çalışmada nitel, metin merkezli bir çözümleme benimsenmiş; Devlet'ten derlenmiş eğitim, doğruluk, karakter ve siyasal yönetimle ilgili seçilmiş pasajlar tematik olarak incelenmiştir. İnceleme, eğitimin çocukluk döneminde anlatılan masallarla başladığını, anlatı içeriklerinin geleceğin yurttaşlarının ahlaki yönelimleri üzerindeki etkisi nedeniyle denetlendiğini göstermektedir. Oyun yoluyla ve zorlama olmaksızın öğrenme ilkesi ise çocuğun doğal yatkınlıklarının belirlenmesine imkân tanıyan bir pedagojik yaklaşım olarak belirginleşmektedir. Müzik ve jimnastiğin birlikte yürütülmesi, ruhun akıl, öfke ve istek boyutları arasında uyum oluşturmayı amaçlamaktadır. Söz konusu içsel düzen, toplumda herkesin kendi yaradılışına uygun görevi yerine getirmesiyle tanımlanan doğruluk anlayışıyla ilişkilidir. Bu bağlamda yönetici ve koruyucuların eğitimi, kişisel çıkarın değil toplumun ortak iyiliğinin gözetildiği bir siyasal yapının koşulu hâline gelmektedir. Eğitimin niteliği, bu nedenle bireyin davranışlarının yanı sıra yasalara duyulan saygı ve siyasal düzenin istikrarı bakımından da belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte çocuklara aktarılacak anlatıların sıkı biçimde seçilmesi ile öğrenmede zorlamanın reddedilmesi, Platon'un eğitim tasarımında ahlaki yönlendirme ve pedagojik serbestlik arasında yorumlanmaya açık bir gerilim ortaya çıkarmaktadır. Sonuç olarak Platon'da eğitim, yalnızca bireysel erdemleri geliştiren bir süreç değil, adalet ile siyasal bütünlüğün kurulmasını ve kuşaklar boyunca korunmasını sağlayan temel bir araç olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Platon, Devlet, eğitim felsefesi, adalet, siyasal düzen

THE ROLE OF EDUCATION IN CONSTRUCTING JUSTICE AND POLITICAL ORDER IN PLATO'S REPUBLIC

ABSTRACT

In Plato's Republic, education is conceived not merely as the acquisition of knowledge but as a formative practice that makes the establishment and continuity of a just political order possible. This study aims to examine how Plato connects education to moral character formation, the ordering of the soul, and political governance. Employing a qualitative, text-centered analysis, it examines selected passages from the Republic compiled under the themes of education, justice, character, and government. The analysis indicates that education begins in childhood with stories whose content must be supervised because of their influence on the moral dispositions of future citizens. By contrast, the insistence that children should learn through play rather than compulsion foregrounds the identification of their natural aptitudes. The combined cultivation of music and gymnastics seeks to harmonize reason, spirit, and appetite within the soul. This internal order parallels justice in the city, which is understood through each person performing the task appropriate to their capacities. The education of rulers and guardians therefore becomes a necessary condition for political leadership oriented toward

the common good rather than private advantage. The quality of education thus also bears on respect for laws and the stability of political institutions, rather than merely shaping individual conduct. Yet the strict selection of narratives for children, together with the rejection of coercive learning, reveals an interpretive tension between moral guidance and pedagogical freedom. The study concludes that education in Plato's political philosophy functions not simply as a means of cultivating individual virtues but also as a fundamental means of establishing justice, sustaining civic unity, and reproducing the political order across generations.
Keywords: Plato, Republic, philosophy of education, justice, political order

GELENEKSEL TELEVİZYON YAYINCILIĞINDAN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ ÜRETİME: TÜRKİYE'DE DİZİ YAYINCILIĞININ TARİHSEL VE TEKNOLOJİK GELİŞİMİ

Arş. Gör. Dr. Cem EREN
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Görsel İletişim Tasarımı Bölümü, 34150, Bayrampaşa, İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-4311-9784

ÖZET
Dizi yayıncılığı, geçmişi radyo dönemindeki seri anlatılara kadar giden; televizyonun kitleselleşmesi ve yeni medyanın ortaya çıkışına dek uzanan süreçte ise, bu teknolojik gelişmelerle beraber dönüşen önemli bir kültürel ve ekonomik üretim alanıdır. Türkiye'de TRT döneminde başlayan televizyon yayıncılığı, özel televizyon kanallarının yaygınlaşmasıyla yeni bir yapıya kavuşmuş; dijital platformların ortaya çıkışı ise bu yeni yapıyı da dönüştürmüştür. Tüm bu gelişmeler, dizilerin üretim; dağıtım ve tüketim pratiklerini yeniden şekillendirmiştir. Günümüzde yapay zekâ teknolojilerinin görsel-işitsel üretime dâhil olması ise bu dönüşümün yeni bir aşamasını oluşturmaktadır.
Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de dizi yayıncılığının tarihsel gelişimini teknolojik dönüşümler bağlamında incelemek ve geleneksel televizyon yayıncılığından dijital platformlara, oradan da yapay zekâ destekli üretime uzanan dönüşümü değerlendirmektir. Literatür taramasına dayalı betimleyici analiz yöntemiyle yürütülen çalışmada, Türkiye'de dizi yayıncılığının tarihsel süreklilikleri ve teknolojik kırılma noktaları ele alınmıştır. Değerlendirmeler, teknolojik dönüşümün yalnızca dizilerin izleyiciye ulaştırılma biçimlerini değil, üretim pratiklerini, yaratıcı olanakları ve içerik üretimine katılan aktörlerin çeşitliliğini de etkilediğini ortaya koymaktadır. Dijital platformlar içerik üretimi ve dağıtımında yeni modellerin gelişmesine zemin hazırlarken yapay zekâ teknolojileri, üretim süreçlerini kolaylaştırma ve bağımsız ya da amatör üreticilerin görsel-işitsel içerik oluşturma olanaklarını genişletme potansiyeli taşımaktadır.
Çalışma, Türkiye'de dizi yayıncılığının teknolojik dönüşümünü tarihsel bir perspektifle ele alarak geleneksel yayıncılıktan dijitalleşmeye ve yapay zekâ destekli üretime uzanan sürecin sürekliliklerini, kırılma noktalarını ve yeni üretim olanaklarını bütünlüklü biçimde değerlendirmektedir.
Anahtar Kelimeler: Dizi tarihi, dizi yayıncılığı, dijital platformlar, teknolojik dönüşüm, yapay zekâ

FROM TRADITIONAL TELEVISION BROADCASTING TO AI-ASSISTED PRODUCTION: THE HISTORICAL AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF TELEVISION SERIES BROADCASTING IN TÜRKİYE

ABSTRACT
Television series broadcasting constitutes a significant field of cultural and economic production, with its origins dating back to serialized narratives in the radio era and its subsequent evolution shaped by technological developments, including the widespread adoption of television and the emergence of new media. In Türkiye, television broadcasting, which began during the era of the Turkish Radio and Television Corporation (TRT), underwent a structural transformation with the proliferation of private television channels, followed by further changes brought about by the emergence of digital platforms. These developments have

reshaped the production, distribution, and consumption practices of television series. Today, the integration of artificial intelligence (AI) technologies into audiovisual production represents a new phase in this transformation.

This study aims to examine the historical development of television series broadcasting in Türkiye within the context of technological transformations and to evaluate its evolution from traditional television broadcasting to digital platforms and, subsequently, AI-assisted production. Employing a descriptive analysis based on a literature review, the study explores the historical continuities and technological turning points in television series broadcasting in Türkiye. The findings indicate that technological transformation has influenced not only the ways in which television series reach audiences but also production practices, creative possibilities, and the diversity of actors involved in content production. While digital platforms have facilitated the development of new models of content production and distribution, AI technologies have the potential to streamline production processes and expand opportunities for independent and amateur creators to produce audiovisual content.

By examining the technological transformation of television series broadcasting in Türkiye from a historical perspective, this study provides a comprehensive assessment of the continuities, turning points, and emerging production opportunities characterizing the transition from traditional broadcasting to digitalization and AI-assisted production.

Keywords: History of television series, television series broadcasting, digital platforms, technological transformation, artificial intelligence.

BİR KUŞAKLARARASI KÜLTÜREL AKTARIM MEKÂNI OLARAK TİKTOK: GEÇMİŞİN MÜZİKAL BELLEĞİNİN DİJİTAL PLATFORMLARDA YENİDEN ÜRETİMİ

Arş. Gör. Dr. Cem EREN
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Görsel İletişim Tasarımı Bölümü, 34150, Bayrampaşa, İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-4311-9784

ÖZET
Dijital iletişim teknolojileri, kültürel ürünlerin dolaşıma girme, tüketilme ve yeniden üretilme biçimlerini dönüştürürken kuşaklar arasındaki kültürel etkileşimlere de yeni olanaklar sunmaktadır. Bu bağlamda TikTok, geçmiş dönemlere ait popüler müziklerin genç kuşaklar tarafından yeniden keşfedildiği ve farklı bağlamlarda dolaşıma sokulduğu bir dijital iletişim alanı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 1970'ler ve 1980'lerle özdeşleşen şarkıların güncel videolarda kullanılması, müziğin yalnızca bir eğlence unsuru olmadığını; kültürel belleğin kuşaklar arasında aktarılmasına aracılık eden bir iletişim kaynağı olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışmanın amacı, söz konusu müziklerin TikTok içeriklerindeki kullanımını kuşaklararası kültürel aktarım bağlamında incelemek ve dijital nostaljinin bu süreçteki rolünü tartışmaktır. Araştırma, kültürel bellek ve katılımcı kültür yaklaşımlarından yararlanarak geçmişe ait müzikal ürünlerin dijital ortamda nasıl yeniden bağlamlandırıldığını ele almaktadır. Bu doğrultuda TikTok videolarının nitel içerik analiziyle incelenmesi; şarkıların kullanım biçimlerinin, videolara yüklenen yeni anlamların ve geçmişle kurulan kültürel bağlantıların değerlendirilmesi öngörülmektedir. Çalışma, 1970'ler ve 1980'lerin müzikal mirasının günümüz dijital kültüründeki dolaşımını inceleyerek kuşaklararası iletişimin dijital platformlar aracılığıyla kazandığı yeni biçimleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, geçmiş dönemlere ait müziklerin genç kullanıcılar tarafından yeniden üretilmesini kültürel aktarımın tek yönlü bir süreç olmaktan çıkarak karşılıklı anlam üretimine dayalı bir yapıya dönüşmesi açısından ele alması yönüyle önem taşımaktadır. Bu yönüyle çalışmanın, kuşaklararası iletişim, dijital kültür ve kültürel bellek literatürlerinin kesişimine katkı sunması hedeflenmektedir.
Anahtar Kelimeler: TikTok, kuşaklararası iletişim, kültürel bellek, dijital nostalji, katılımcı kültür.

TIKTOK AS A SPACE FOR INTERGENERATIONAL CULTURAL TRANSMISSION: THE REPRODUCTION OF MUSICAL MEMORY FROM THE PAST ON DIGITAL PLATFORMS

ABSTRACT
Digital communication technologies have transformed the ways in which cultural products circulate, are consumed, and are reproduced, while also creating new opportunities for cultural interactions between generations. In this context, TikTok has emerged as a digital communication space where popular music from past decades is rediscovered by younger generations and circulated within new contexts. In particular, the use of songs associated with the 1970s and 1980s in contemporary videos suggests that music serves not merely as a form of entertainment but also as a medium of communication facilitating the intergenerational transmission of cultural memory.

This study aims to examine the use of these songs in TikTok content within the framework of intergenerational cultural transmission and to discuss the role of digital nostalgia in this process. Drawing on theoretical perspectives of cultural memory and participatory culture, the research explores how musical works from the past are recontextualized in digital environments. Accordingly, the study proposes to employ qualitative content analysis to examine TikTok videos, focusing on the ways in which songs are used, the new meanings attributed to these videos, and the cultural connections established with the past.

By investigating the circulation of the musical heritage of the 1970s and 1980s within contemporary digital culture, the study seeks to reveal the emerging forms of intergenerational communication facilitated by digital platforms. Its significance lies in examining how the reproduction of music from earlier decades by younger users contributes to the transformation of cultural transmission from a unidirectional process into a dynamic practice based on reciprocal meaning-making. In this respect, the study aims to contribute to the intersection of scholarship on intergenerational communication, digital culture, and cultural memory.

Keywords: TikTok, intergenerational communication, cultural memory, digital nostalgia, participatory culture.

DIGITAL NUTRITION MISINFORMATION: IMPLICATIONS FOR DIETARY BEHAVIORS AND PUBLIC HEALTH

Doç. Dr. Gülperi DEMİR
Selcuk University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0000-0002-7362-3335

ABSTRACT

The widespread use of digital platforms has transformed how individuals access and share nutrition-related information. Although social media and other online resources provide opportunities to promote healthy eating, they also facilitate the rapid dissemination of inaccurate, misleading, or scientifically unsupported nutrition claims. This narrative review aims to discuss nutrition misinformation in digital environments, its potential implications for dietary behaviors and public health, and strategies to improve the reliability of nutrition communication.

The review focuses on three interconnected areas: the characteristics and dissemination of nutrition misinformation on digital platforms, its potential influence on food choices and dietary practices, and the importance of nutrition and digital health literacy in evaluating online information. Nutrition misinformation may contribute to unnecessary dietary restrictions, inappropriate supplement use, confusion about healthy eating recommendations, and reduced trust in evidence-based dietary guidance. The influence of such content may be particularly relevant when information is presented by popular online figures without appropriate professional qualifications or scientific support. However, the relationship between exposure to nutrition misinformation and actual dietary behavior is complex and may vary according to individual characteristics, existing beliefs, and information-evaluation skills.

Improving access to evidence-based nutrition information, strengthening nutrition and digital health literacy, and increasing the visibility of qualified health professionals on digital platforms may help reduce the potential harms associated with nutrition misinformation. Effective public health strategies should also consider transparent communication and collaboration between healthcare professionals, researchers, and digital platforms.

Keywords: Nutrition misinformation; social media; dietary behaviors; nutrition literacy; public health.

DIFFERENTIAL EXPRESSION OF lncRNAS AND RELATED GENES IN FIRST-EPISODE AND RECURRENT MAJOR DEPRESSIVE DISORDER

Huriye ERGEZGİN
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0009-0008-3649-7270
Prof. Dr. Ayşe Gaye TOMATIR
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-9251-9632
Assist. Prof. Dr. Pervin Elvan TOKGÜN
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Medical Genetics, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0001 9025-4140
Assist. Prof. Dr. Osman Zülkif TOPAK
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Psychiatry, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1604-2243
Res. Assist. Hanife Betül GÜRKAN
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Psychiatry, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0009-0005-3249-9269
Dr. İbrahim BAYAV
Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-3533-3935

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Major depressive disorder (MDD) is a psychiatric disorder characterized by depressed mood and anhedonia, with a high potential for chronicity and recurrence. The diagnosis is based on the individual's subjective report and a mental status examination; no biomarker has yet been identified. Recent findings indicate that epigenetics, in conjunction with psychosocial and biological factors, plays a role in the development of the disease. Abnormal expression of long noncoding RNAs (lncRNAs), one of the fundamental epigenetic mechanisms that regulate gene expression at the transcriptional, post-transcriptional, and translational levels, has been identified in the development of many diseases, including psychiatric disorders. This study aimed to investigate abnormal lncRNA expression in patients diagnosed with major depressive disorder.

Materials and Methods: Total RNA was isolated from PBMC samples collected from patients with first-episode of MDD (n=20), patients with recurrent MDD (n=20), and controls subjects without a psychiatric disorder (n=20). A transcriptome analysis (RNA-seq) was performed on nine samples (three from each group), and expression changes were observed in four lncRNAs (MIR142HG, TM9SF2, INAFM2, and ENSG00000289702.1) and the ZFPM2 gene. These changes were confirmed via qRT-PCR analysis in other samples (n = 51).

Results: MIR142HG expression was significantly decreased in the first-episode group compared with the control group. However, it was significantly increased in the recurrent group.

This change was associated with the clinical course of the disease. Although the expression of ZFPM2, the gene targeted by miR-142, decreased significantly in both groups, this decrease was more pronounced in the first-episode group. The increase in MIR142HG expression and the decrease in ZFPM2 expression in the recurrent group suggested that this change might be mediated by miR-142. It was determined that the expression levels of TM9SF2 and INAFM2 were significantly increased only in the recurrent group. The significant increase in ENSG00000289702.1 expression observed in the first-episode group, but not in the recurrent group, was associated with response to antidepressant treatment. **Discussion and Conclusion:** In conclusion, the lncRNAs MIR142HG, TM9SF2, INAFM2 and ENSG00000289702.1 were found to have the potential to serve as biomarkers due to their roles in the development and progression of MDD.
Keywords: Major deprressive disorder; lncRNA; Transkriptome

İLK TANI VE TEKRARLAYAN MAJÖR DEPRESİF BOZUKLUKTA lncRNA'LAR VE İLİŞKİLİ GENLERİN FARKLI EKSPRESYONU

ÖZET

Giriş ve Amaç: Majör depresif bozukluk (MDB); kronikleşme ve tekrarlama potansiyeli yüksek, çökkün duygudurumu ve anhedoni ile karakterize psikiyatrik bir hastalıktır. Tanı, bireyin öznel bildirimine ve ruhsal durum muayenesine dayanmakta olup henüz bir biyobelirteç tanımlanmamıştır. Günümüzde, hastalığın gelişimine psikobiyososyal faktörlerin yanı sıra epigenetiğin de katkı sağladığı bildirilmektedir. Temel epigenetik mekanizmalardan biri olan ve gen ifadesini transkripsiyonel, post-transkripsiyonel ve translasyonel olarak düzenleyen uzun kodlamayan RNA'ların (lncRNA) anormal ekspresyonu psikiyatrik rahatsızlıklar dahil birçok hastalığın gelişiminde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, uzun kodlamayan RNA'ların (lncRNA) anormal ekspresyonunun majör depresif bozukluk tanısı almış hastalarda araştırılması amaçlandı.

Materyaller ve Yöntemler: İlk kez MDB tanısı almış hastalar (n=20) ile tekrarlayan MDB hastalarından (n=20) ve psikiyatrik bozukluğu bulunmayan kontrollerden (n=20) alınan PBMC örneklerinden total RNA izolasyonu gerçekleştirildi. Daha sonra her gruptan 3 olmak üzere toplam 9 örnek için transkriptom (RNA-seq) analizi yapıldı ve ekspresyonu değiştiği belirlenen 4 lncRNA; MIR142HG, TM9SF2, INAFM2, ENSG00000289702.1 ile ZFPM2 geninin ekspresyon değişimi diğer örneklerde de (n=51) qRT-PCR analiziyle doğrulandı.

Sonuçlar: MIR142HG'nin ekspresyonu, ilk tanı grubunda kontrole kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalırken yineleyen grupta anlamlı bir şekilde arttı; bu değişim hastalığın klinik seyriyle ilişkilendirildi. miR-142'nin hedefi geni olan ZFPM2'nin ekspresyonu ise her iki grupta anlamlı şekilde azalırken, ilk tanı grubunda bu azalışın daha fazla olduğu görüldü. Yineleyen grupta MIR142HG ekspresyonunun artması ve ZFPM2 ekspresyonunun azalması bu değişimin miR-142 aracılı olabileceği olasılığını düşündürdü. TM9SF2 ve INAFM2'nin ekspresyonlarının ise sadece yineleyen grupta anlamlı olarak arttığı belirlendi. ENSG00000289702.1'nin ekspresyonun ilk tanı grubundaki anlamlı artışının yineleyen grupta görülmemesi ise antidepresan tedavisine yanıt ile ilişkilendirildi. **Tartışma ve Sonuç:** Sonuç olarak; MIR142HG, TM9SF2, INAFM2, ENSG00000289702.1 lncRNA'larının, MDB'nin gelişimindeki ve seyrindeki rolleri bakımından biyobelirteç olabilme potansiyellerinin bulunduğu kanısına varıldı.
Anahtar Sözcükler: Majör Depresif Bozukluk; lncRNA; Transkriptom

BEŞ MOSFET'Lİ ANAHTARLANABİLİR DİRENÇSEL–KAPASİTİF EMPEDANS HÜCRESİ: 0,18 µm CMOS TEKNOLOJİSİNDE DEVRE ANALİZİ VE BENZETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Elham MİNAYİ
Doğuş University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 34775 Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6572-215X

ÖZET

Bu çalışmada, harici pasif eleman kullanılmadan girişinde kapasitif veya dirençsel davranış gösterebilen beş MOSFET'li bir empedans hücresi incelenmiştir. Devrenin çalışma ilkesi, transistörlerin kutuplama koşulları ve küçük işaret bağıntıları kullanılarak analitik olarak değerlendirilmiş, sonuçlar TSMC 0.18 µm CMOS transistör parametreleriyle gerçekleştirilen devre benzetimleriyle karşılaştırılmıştır. İnceleme, PMOS yük transistörü M_2'nin kanal genişliğinin 18 µm seçildiği tek bir boyutlandırma için yapılmıştır. CTRL = 0 V durumunda, PMOS aktif yüklü NMOS ortak kaynak katı, transistörlerin iç kapasitelerine ilişkin Miller etkisi sayesinde girişte ağırlıklı olarak kapasitif bir yanıt üretmektedir. Birinci dereceden küçük işaret analizi, düşük frekans gerilim kazancını yaklaşık −35.63 V/V ve Miller çarpanını 36.63 olarak vermektedir. M_1 transistörü ile ilişkili giriş kapasitesi katkısı yaklaşık 103,7 fF olarak tahmin edilmiştir; bu değer, tüm giriş portunun eşdeğer kapasitesi olarak yorumlanmamalıdır. Bu çalışma durumunda DC besleme gücü 111.96 µW olarak bulunmuştur. CTRL = 1.8 V durumunda ise kazanç katı devre dışı kalmakta ve M_3 transistörü, giriş ve referans gerilimlerinin nominal olarak 0.75 V olduğu kutuplama noktası yakınında dirençsel bir yol sağlamaktadır. Benzetimde elde edilen yerel çıkış iletkenliği, yaklaşık 4.13 kΩ'luk artımsal dirence ve 56.30 pW düzeyinde DC besleme gücüne karşılık gelmektedir. Giriş empedansının genlik ve faz karakteristikleri, iki çalışma durumunu birbirinden ayırmakta. Bulgular, seçilen kutuplama ve yerleşim öncesi model koşullarıyla sınırlıdır.

Anahtar Kelimeler: CMOS analog devreler; anahtarlanabilir empedans; Miller etkisi; MOS direnç; iç kapasite.

A FIVE-MOSFET SWITCHABLE RESISTIVE–CAPACITIVE IMPEDANCE CELL: CIRCUIT ANALYSIS AND SIMULATION IN 0.18-µm CMOS

ABSTRACT

This study investigates a five-MOSFET impedance cell that can exhibit either capacitive or resistive input behavior without external passive components. The circuit is analyzed using transistor-level operating conditions and small-signal relationships, and the results are assessed through simulations with TSMC 0.18-µm CMOS transistor parameters. A single device configuration is considered, with the PMOS load transistor M_2 having a width of 18 µm. At CTRL = 0 V, an NMOS common-source stage with a PMOS active load produces a predominantly capacitive input response through the Miller effect associated with intrinsic transistor capacitances. The first-order analysis gives a low-frequency voltage gain of approximately −35.63 V/V and a Miller factor of 36.63. The resulting M_1-related input-capacitance contribution is estimated at 103.7 fF; this estimate does not represent the complete input-port capacitance. The simulated DC supply power in this mode is 111.96 µW. At CTRL = 1.8 V, the gain stage is disabled and M_3 provides a resistive input path near the nominal 0.75 V input and reference bias. The simulated local output conductance corresponds to an incremental resistance of approximately 4.13 kΩ, while the DC supply power is about 56.30 pW. Input-impedance magnitude and phase responses distinguish the two states and support the circuit-level interpretation. The findings apply to the specified bias conditions and pre-layout transistor models; intermediate control voltages and large-signal behavior are not addressed.

Keywords: CMOS analog circuits; switchable impedance; Miller effect; MOS resistor; intrinsic capacitance.

MODÜLER HAZNELİ TEMASSIZ KATI İLAÇ DAĞITIM MAKİNESİNİN TASARIMI VE İMALATI

Kaan KOÇ
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğal Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 34445 Beyoğlu, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-8298-7403
Merdan Efe TAŞ
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğal Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 34445 Beyoğlu, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0001-1336-0377
Dr. Öğr. Üyesi Kürşat TANRIVER
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğal Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 34445 Beyoğlu, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1723-4108
Prof. Dr. Mustafa AY
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, 34840 Maltepe İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7672-1846

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir

ÖZET
Sağlık ve endüstriyel ortamlarda ilaçların elle hazırlanması sırasında ortaya çıkan çapraz bulaşma riski ve doz hataları, güncel literatürde önemli bir problem olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, farklı geometrilere sahip katı ilaç formlarının kullanıcı teması olmaksızın dozlanmasını sağlayan modüler hazneli ve IoT tabanlı bir temassız ilaç dağıtım makinesi geliştirilmiştir. Sistemde efervesan tabletler, uzun kapsüller ve ince-kısa tabletler için birbirinden farklı iç mekanizmalara sahip üç değiştirilebilir hazne tasarlanmıştır. Her haznenin hareketi, vida-dişli iletim düzeni sayesinde tek bir step motor ve tek bir motor sürücüsü ile sağlanmış, böylece elektronik bileşen sayısı ve sistem maliyeti azaltılmıştır. Mekanik parçalar eklemeli imalat, CNC frezeleme ve lazer kesim yöntemleriyle üretilmiş; dişli mekanizmasının kritik bölgeleri Ansys ortamında yapılan yapısal analizlerle iyileştirilmiştir. Gömülü kontrol yazılımı, seri haberleşme üzerinden alınan komutlarla motor dönüşlerini doza dönüştürecek ve kalan stok miktarlarını eş zamanlı olarak izleyecek şekilde kurgulanmıştır. Kullanıcı katmanında ise alarm, doz ayarlama, stok yönetimi ve kablosuz bağlantı yapılandırması işlevlerini içeren web tabanlı bir arayüz geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, düşük maliyetli, modüler ve uzaktan yönetilebilen bir temassız ilaç dağıtım mimarisinin uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.
Anahtar kelimeler: Temassız ilaç dağıtımı, Modüler hazne tasarımı, Eklemeli imalat, Mekatronik sistem tasarımı

DESIGN AND MANUFACTURING OF A CONTACTLESS SOLID MEDICATION DISPENSING MACHINE WITH MODULAR COMPARTMENTS

ABSTRACT

The risk of cross-contamination and dosing errors associated with the manual preparation of medications in healthcare and industrial environments has been identified as a significant problem in the current literature. In this study, a modular, IoT-based contactless medication dispensing machine was developed to dispense solid dosage forms with different geometries without direct user contact. Three interchangeable compartments with distinct internal mechanisms were designed for effervescent tablets, elongated capsules, and thin, short tablets. The movement of each compartment was driven by a single stepper motor and motor driver through a screw-gear transmission mechanism, thereby reducing the number of electronic components and overall system cost. The mechanical components were manufactured using additive manufacturing, CNC milling, and laser cutting techniques, while critical regions of the gear mechanism were improved through structural analyses performed in ANSYS. The embedded control software was designed to convert motor rotations into dispensing doses based on commands received via serial communication and to monitor the remaining inventory levels in real time. A web-based user interface was also developed, incorporating alarm management, dose adjustment, inventory management, and wireless connectivity configuration functions. The results demonstrated the feasibility of a low-cost, modular, and remotely manageable contactless medication dispensing architecture.

Keywords: Contactless medication dispensing, Modular compartment design, Additive manufacturing, Mechatronic system design

SAĞLIK TURİZMİNDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMI: FIRSATLAR, RİSKLER VE GELECEK PERSPEKTİFLER

Yüksek Lisans Öğrencisi Merve DEMİRCİ
SCÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Sağlık Turizmi İşletmeciliği (Disiplinlerarası) Anabilim Dalı
ORCID ID:0009-0007-8497-3203
Doç. Dr. Nurperihan TOSUN
SCÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı

ÖZET
Bu çalışmanın amacı, sağlık turizminde yapay zekâ kullanımının sunduğu fırsatları, beraberinde getirdiği riskleri ve gelecekteki gelişim potansiyelini incelemektir. Teknolojik gelişmelerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, uluslararası hastaların ihtiyaçlarının karşılanması, hizmet kalitesinin artırılması ve sağlık kuruluşlarının operasyonel süreçlerinin iyileştirilmesi açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada literatür taraması yöntemi kullanılmış; konuya ilişkin akademik makaleler, kitaplar ve bilimsel yayınlar incelenmiştir. Elde edilen bilgiler, yapay zekânın sağlık turizmindeki kullanım alanları, fırsatları, riskleri ve Türkiye açısından gelişim potansiyeli çerçevesinde değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda yapay zekânın tanı ve tedavi süreçlerinin desteklenmesi, kişiselleştirilmiş sağlık hizmetlerinin sunulması, çok dilli iletişimin geliştirilmesi, hasta takibinin kolaylaştırılması ve kaynakların daha etkin kullanılması gibi alanlarda önemli katkılar sağlayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca büyük veri analizi ve uzaktan sağlık uygulamalarının uluslararası hastaların hizmetlere erişimini kolaylaştırarak sağlık kuruluşlarının rekabet gücünü destekleyebileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte kişisel sağlık verilerinin gizliliği, veri güvenliği, yanlış bilgi üretimi, etik sorunlar ve hukuki belirsizlikler, yapay zekâ kullanımının başlıca riskleri olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin sağlık turizmindeki potansiyelini güçlendirebilmesi için dijital altyapının geliştirilmesi, sağlık çalışanlarının dijital yetkinliklerinin artırılması ve kişisel verilerin korunmasına yönelik önlemlerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca sağlık kuruluşlarında yapay zekâ uygulamalarının etkinliğinin düzenli olarak değerlendirilmesi ve teknolojik sistemlerin güncel ihtiyaçlara uygun biçimde geliştirilmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak yapay zekânın uzman denetiminde, etik ilkeler doğrultusunda ve güvenlik önlemleri gözetilerek kullanılması, sağlık turizminin sürdürülebilir gelişimine, hizmet kalitesinin iyileştirilmesine ve Türkiye'nin uluslararası rekabet gücünün artırılmasına katkı sağlayabilir.
Anahtar Kelimeler: Sağlık turizmi, yapay zekâ, dijitalleşme, veri güvenliği, sağlık hizmetleri.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH TOURISM: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT
The aim of this study is to examine the opportunities offered by the use of artificial intelligence (AI) in health tourism, the associated risks, and its potential for future development. The integration of technological advancements into healthcare services provides significant opportunities for meeting the needs of international patients, improving service quality, and enhancing the operational processes of healthcare institutions. Accordingly, a literature review methodology was employed, involving an examination of academic articles, books, and

scientific publications related to the subject. The information obtained was evaluated in terms of the applications of AI in health tourism, the opportunities and risks it presents, and its development potential in Türkiye.

The findings indicate that AI can make significant contributions to supporting diagnostic and treatment processes, delivering personalized healthcare services, improving multilingual communication, facilitating patient follow-up, and ensuring more efficient resource utilization. Furthermore, big data analytics and telehealth applications may facilitate international patients' access to healthcare services and strengthen the competitiveness of healthcare institutions. Nevertheless, the privacy of personal health data, data security, the generation of inaccurate information, ethical concerns, and legal uncertainties emerge as the principal risks associated with the use of AI. To strengthen Türkiye's potential in health tourism, it is necessary to improve digital infrastructure, enhance the digital competencies of healthcare professionals, and reinforce measures for the protection of personal data. In addition, the effectiveness of AI applications in healthcare institutions should be evaluated regularly, and technological systems should be developed in accordance with evolving needs. In conclusion, the use of AI under expert supervision, in accordance with ethical principles and with appropriate security measures in place, may contribute to the sustainable development of health tourism, the improvement of service quality, and the enhancement of Türkiye's international competitiveness.

Keywords: Health tourism, artificial intelligence, digitalization, data security, healthcare services.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DİYAFRAMLI ESNEK KAPLİNLERDE TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN EKSENEL VE EĞİLME RİJİTLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN BOX-BEHNKEN YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ İLE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ TABANLI İNCELENMESİ VE DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Mertcan MOSMOS
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06500, Yenimahalle, Ankara
ORCID ID: 0009-0003-2635-1968
Doç. Dr. Tunç APATAY
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06500, Yenimahalle, Ankara
ORCID ID: 0000-0001-6870-1354

ÖZET
Kaplinler günümüzde döner ekipman bağlantıları arasındaki tork iletimini sağlayan en temel mekanik bağlantı elemanlarından biridir. Aynı zamanda eksenel ve açısal hizasızlıklarını tolere edip sistemin çalışma koşullarında güvenli çalışmasını sağlarlar. Kaplinlerdeki rijitlik ise mekanik davranışlarını belirleyen temel karakteristik özelliklerden biridir. Bu çalışmada, metal esnek diyafram tipli esnek kaplinlerin eksenel ve eğilme rijitlikleri üzerinde etkisi olduğu düşünülen değişkenler incelenmiştir. İki adet tam ölçekli numune üzerinde fiziksel eksenel ve eğilme rijitlik deneyleri yapılmıştır. Deneysel rijitlik değerleri iki ayrı yaklaşımla karşılaştırılmıştır. İlk olarak, numunelerin geometrilerine ait doğrudan sonlu elemanlar analizi sonuçları kullanılmıştır. İkinci olarak, Box–Behnken deney tasarımı kapsamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinden geliştirilen regresyon modellerinin tahminleri kullanılmıştır. Eğilme rijitliği için deney ve doğrudan sonlu elamanlar analizleri ile arasındaki farklar iki numunede sırasıyla %2,48 ve %2,28; eksenel rijitliği ölçülen numunede ise %3,65 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları ile deney tasarımı kapsamında sonlu elemanlar analizleri yapılarak oluşturulan regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Aralarındaki farklar sırasıyla eksenel rijitlikler için ilk numunede %3,31, ikinci numunede ise %3,65'tir. Eğilme rijitliği için ise sırasıyla %5,27 ve %7,66 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kaplinin diyafram yarıçapı, diyafram uzunluğu, dip radyusu, diyafram sayısı, diyafram yanal profil kalınlığı ve diyafram üst profil kalınlığı ele alınmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen rijitlik değerleri kullanılarak ikinci dereceden regresyon modelleri geliştirilmiş; ana etkiler, karesel terimler ve ikili etkileşimler varyans analiziyle değerlendirilmiştir. Eksenel ve eğilme rijitliği modellerinin her ikisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p<0,001$), belirleme katsayıları sırasıyla %98,04 ve %98,67 olarak hesaplanmıştır. ANOVA incelendiğinde diyafram yarıçapı her iki yanıt için en yüksek standartlaştırılmış ana etkiyi göstermiş; diyafram sayısı ve diyafram profili yanal kalınlığı da anlamlı bulunmuştur. Bulgular, incelenen tasarım aralığında rijitlik davranışının geometrik parametrelerin bireysel etkileri ve aralarındaki etkileşimlerle açıklanabildiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Metal Diyafram kaplin, eksenel rijitlik, eğilme rijitliği, Box-Behnken tasarımı, yüzey yanıt metodu, açısal hizasızlık, eksenel hizasızlık,

A FINITE ELEMENT ANALYSIS-BASED STUDY OF DESIGN VARIABLE EFFECTS ON AXIAL AND BENDING STIFFNESS OF FLEXIBLE DIAPHRAGM COUPLINGS USING BOX-BEHNKEN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND COMPARISON WITH EXPERIMENTAL RESULTS

ABSTRACT

Couplings are one of the essential mechanical components that transmit torque between rotating shafts. Flexible couplings also tolerate axial and angular misalignments, enabling the system to operate safely under its service conditions. Stiffness is one of the key characteristics determining their mechanical behavior. This study examines the variables expected to affect the axial and bending stiffness of metal diaphragm flexible couplings. Axial and bending stiffness experiments were conducted on two full-scale specimens. The experimental stiffness values were compared using two distinct approaches. The first approach used direct finite element analysis results obtained for the specimen geometries. The second approach used predictions from regression models developed from finite element analyses conducted within a Box–Behnken experimental design. The differences between the experimental and direct finite element analysis results for bending stiffness were 2.48% and 2.28% for the two specimens, respectively. For the specimen whose axial stiffness was measured, the difference was 3.65%. The experimental results were also compared with the predictions obtained from the regression equations developed using the finite element results within the design of experiment (DOE). The differences in axial stiffness were 3.31% and 3.65% for the first and second specimens, respectively, while the corresponding differences in bending stiffness were 5.27% and 7.66%. The geometric parameters considered were diaphragm radius, diaphragm length, fillet radius, diaphragm count, diaphragm side-profile thickness, and diaphragm top-profile thickness. Quadratic regression models were developed using the stiffness values obtained from finite element analyses. Main effects, quadratic terms, and two-factor interactions were evaluated through analysis of variance (ANOVA). Both the axial and bending stiffness models were statistically significant ($p < 0.001$), with coefficients of determination (R^2) of 98.04% and 98.67%, respectively. The ANOVA results indicated that diaphragm radius exhibited the largest standardized main effect on both responses. Diaphragm count and diaphragm side-profile thickness were also statistically significant. These findings indicate that, within the studied range, stiffness behavior can be explained by the individual effects of the geometric parameters and their interactions.

Keywords: Metal diaphragm coupling, axial stiffness, bending stiffness, finite element analysis, Box–Behnken design, response surface methodology, angular misalignment, axial misalignment,

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SOCIAL SECURITY AND MENTAL HEALTH SUPPORT POLICIES FOR POSTPARTUM WOMEN IN URBAN VIETNAM AMID DIGITAL TRANSFORMATION

Nguyen Thi Nguyet
Hanoi Law University (HLU), Viet Nam

Abstract
Postpartum mental health is a public health concern shaped by biological, psychological, and social determinants. This article examines challenges faced by postpartum women in urban Vietnam amid digital transformation, with attention to caregiving demands, work-related pressures, online information exposure, and access to support services. Drawing on a narrative review of the literature and relevant Vietnamese policy documents, it discusses potential gaps in access to screening, counselling, and postpartum mental healthcare. Policy options include assessing appropriate coverage for psychological services, strengthening referral pathways between maternity and mental healthcare, and piloting voluntary digital screening using the Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS) with robust personal data safeguards. The article highlights the need to evaluate feasibility, effectiveness, digital equity, and safety before wider implementation.
Keywords*:* Social security; Mental health; Urban postpartum women; Digital transformation; Public policy and gender; Barriers to service access.

1. Introduction

Digital transformation is changing working environments, access to information, and modes of healthcare delivery in Vietnam. For postpartum women in urban areas, digital technology can broaden opportunities to access information and support while also creating additional pressures related to work connectivity, social comparison, and information overload. These effects need to be considered alongside established factors in perinatal mental health, such as psychological history, social support, economic conditions, and quality of care.

Depression and other postpartum psychological difficulties need to be considered simultaneously at the individual, family, and service-system levels. The 2013 Constitution of Vietnam recognizes the right to social security (Article 34) and the right to health protection and healthcare. This provides the legal context for analyzing access to postpartum mental health services.

However, the extent of coverage and the conditions for accessing mental health screening, counselling, and treatment under current policies need to be assessed specifically. Rather than assuming that every form of mental healthcare falls outside health-insurance coverage, this article focuses on barriers involving costs, human resources, referral linkages, and service access during the postpartum period.

2. Theoretical Foundations

2.1. Socio-ecological, Gender, and Service access framework

2.1.1. Social factors affecting postpartum women's mental health

Postpartum women's mental health is influenced not only by physiological and psychological changes but also by living conditions, family circumstances, and social relationships. From the perspective of the social determinants of health, psychological difficulties arising after childbirth should be examined in relation to economic conditions, employment, childcare responsibilities, family support, and access to healthcare services.

Financial pressure, unstable income, or interruption of employment after childbirth may increase maternal stress, particularly in families with limited support resources. Support from husbands and other family members is also important to women's mental health. When childcare responsibilities fall mainly on the mother while her needs for rest and emotional support remain unmet, the risk of psychological difficulties may increase. Conversely, care, shared responsibilities, and practical family support can help women adapt more effectively to postpartum changes.

Differences in living conditions and service access among groups of women also warrant attention. Women with low-incomes, those working in the informal sector, or migrants to urban areas may face

greater difficulty in accessing support resources. In addition to time and cost constraints, reluctance, limited information about services, and the belief that postpartum emotional difficulties are normal may delay help seeking.

Policies supporting postpartum mental health should therefore be considered in connection with social security policies, maternity benefits, working conditions, and the healthcare system. In addition to early identification of psychological difficulties, attention should be paid to reducing social pressures on mothers, strengthening family participation, and enabling women in different circumstances to access appropriate support services.

2.1.2. Gender-sensitive and equitable approaches to healthcare

Mental healthcare for postpartum women needs to account for differences in the roles, responsibilities, and living conditions of women and men. In many families, women continue to perform most childcare and unpaid domestic work. After childbirth, in addition to physical and psychological changes, mothers must adapt to childcare responsibilities, changes in family relationships, and pressure to return to work. Without support from husbands and other family members, these responsibilities may become a prolonged source of stress affecting women's mental health.

A gender-sensitive approach considers not only the difficulties women face but also how gender relations and norms affect their ability to seek support. For example, the view that childcare is primarily the mother's responsibility may leave women with little time to rest, care for themselves, or access services when experiencing psychological difficulties. Their ability to make independent decisions about using healthcare services may also be constrained by economic dependence or family expectations.

From the standpoint of equity in healthcare, providing identical services to all women may not meet the needs of every group. Low-income women, migrant workers, informal-sector workers, or women without childcare support may encounter greater obstacles to service access. Policies should therefore consider not only service availability but also actual usability, including costs, timing, service locations, and suitability to the mother's circumstances.

Integrating mental health screening and support into antenatal visits and postpartum care may facilitate early recognition of psychological difficulties. However, this work must be undertaken by appropriately qualified personnel, with management guidance and referral mechanisms for cases requiring specialized intervention. Women's mental health information must remain confidential, and assessment must be based on consent and respect for the care recipient's autonomy. These are important conditions for postpartum mental healthcare that is both equitable and gender-sensitive.

2.1.3. Ecological systems theory

To analyze factors affecting postpartum women's mental health in the context of urbanization and digital transformation, the study applies Bronfenbrenner's ecological systems theory (1979). Under this approach, individual mental health is influenced not only by psychological and biological characteristics but also by interactions between the individual and family, the social environment, and economic, cultural, and policy conditions. This study examines influencing factors at the following levels:

The microsystem comprises environments in which the mother interacts directly, including the family, marital relationship, support from relatives, and workplace. The quality of relationships, the division of childcare responsibilities, and the level of social support may affect postpartum women's psychological state and ability to adapt.

The mesosystem reflects connections between microsystems, such as interactions between the family and workplace, between the family and healthcare facilities, or among direct sources of support. Coordination or a lack of connection - between these settings may facilitate or hinder access to postpartum mental health services.

The ecosystem includes conditions and institutions in which the mother does not necessarily participate directly but which still affect her, such as corporate post-maternity working policies, access to health services, community support systems, and the digital media environment. In particular, the prevalence of online platforms may create additional opportunities to access information and psychological support while increasing exposure to misinformation and social comparison pressure.

The macrosystem includes cultural values, gender norms, socioeconomic conditions, and policy systems concerning health insurance, social security, gender equality, and digital transformation. These factors shape opportunities to access resources, the level of social protection, and postpartum women's ability to use mental health services.

The chronosystem concerns changes throughout the transition to motherhood, including postpartum psychological adaptation, changing family responsibilities, the timing of return to work, and transformations in the social environment resulting from digitalization.

Applying ecological systems theory makes it possible to approach postpartum mental health as a multidimensional issue formed through interactions among individual, family, social, and institutional factors. The framework also provides a basis for analysing barriers to service access and proposing mental health support policies suited to the needs of women in urban Vietnam.

2.2. Operational Conceptual Framework

Gender-sensitive mental social security refers to a system of legislative mechanisms, public policies, and social-assistance services designed in light of biological sex-specific characteristics and socially constructed gender burdens, with the aim of proactively preventing, screening for, and medically intervening in mental health risks affecting women.

Multidimensional vulnerability in the digital era refers to the compounded psychological vulnerability of urban postpartum women, who face both the biological and familial pressures associated with traditional gender role expectations and the pressures of economic growth, online workplace culture, and invisible violence in modern cyberspace.

Digital transformation of social-security services means applying big data and artificial intelligence (AI) to optimize and make public healthcare delivery more intelligent, shifting from a passive response model to a model of remote online assistance.

3. The State of Psychological Crisis among Urban Postpartum Women in the Digital Economy: A Psychological and Gender Perspective

3.1. Postpartum women's mental health in urban areas as reflected in research

Postpartum women's mental health is shifting from being viewed solely as a medical condition to being recognized as a systemic social challenge in developing countries (Nguyễn Thanh Hương & Trần Hùng Minh, 2023). According to overview data from the World Health Organization, the proportion of women experiencing postpartum mental disorders mainly depression in low and middle income countries is as high as 19.8% (World Health Organization, 2020). In Vietnam, epidemiological studies have reported that the proportion of postpartum women showing signs of or experiencing postpartum depression (PPD) ranges widely, from 8.2% to 48.1% (Nguyen Ha Thi Thu, Frontiers in Psychology, 2021). This heterogeneity and wide variation are not random; they result from methodological differences among domestic studies in three structural respects:

First, screening instruments differ. Vietnamese studies use different tools with distinct measurement principles: the Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS) accounts for 50%, DSM-based clinical assessment for 22.2%, and the Self-Reporting Questionnaire (SRQ-20) for 16.7% (Nguyen, T. H., Nguyen, P. T., & Hansson, E., 2021).

Second, cut-off scores are inconsistent even among studies using the EPDS. A large-scale study by Nguyen and colleagues in Đông Anh, Hà Nội, involving 1,337 women and applying the stricter cut-off of ≥13, recorded a rate of 8.2% (Nguyen, H. T. T., Hoang, A. P., Do, L. T. K., Schiffer, S., & Nguyen, H. T. H., 2021). By contrast, studies at specialized urban referral hospitals involving high-pressure groups such as mothers of premature infants or children receiving pediatric treatment used more sensitive cut-offs of ≥10 or ≥12 and recorded rates ranging from 27.3% to 34.2% (Nguyen, M. N., Nguyen, T. H., & Oei, T. P. S., 2023).

Third, timing and location differ. Figures near the upper limit of the range (48.1%) mainly appear in small cross-sectional studies conducted in high-pressure urban settings during the first one to three months after childbirth, a period of peak hormonal and psychological crisis.

Overall, a systematic review covering the decade from 2010 to 2020 and published in an international journal indicated that the practical lower bound of this syndrome in Vietnam remained stable at around

20%. This figure is comparable to the global average, yet legal support and health-insurance protection remain absent. Clinical data from the National Institute of Mental Health at Bạch Mai Hospital indicate that 33% of women in Vietnam face postpartum psychological disorders meaning one in every three mothers experiences a mental health crisis. The condition accounts for approximately 20% of maternal deaths through acts of self-harm.

Survey data from several major cities, where the mechanical pressures of industrial lifestyles and high levels of digital interaction are concentrated, indicate differences in recorded psychological harm compared with rural areas. A cross-sectional study at Hùng Vương Hospital in Ho Chi Minh City reported that 32.8% of postpartum women showed signs of postpartum depression (Hùng Vương Hospital, 2024). Data from specialized obstetric hospitals in Hà Nội indicate that as many as 46.8% of urban women surveyed exhibited symptoms at or above the depression threshold on the EPDS. Among women with high scores, commonly self-reported manifestations included sleep disturbance, changes in eating behavior, and, notably, self-reproach or anxiety about their maternal competence.

Although current cross-sectional research designs do not provide a sufficient basis for asserting direct causality, these epidemiological data suggest that rapid urbanization and features of the digital economic environment are assumed to be significantly associated with, or to contribute to, the overall psychological burden on postpartum women in urban areas. Accumulating intermediary factors including continuous online work pressure, reduced traditional family support networks in cities, and information disorder online are potential variables that social security policy systems need to recognize and address through proactive prevention and early intervention.

3.2. Effects of social media and expectations of motherhood on postpartum mental health

From a psychological perspective, social media spaces such as Facebook, TikTok, and Instagram have become environmental factors that intensify psychological pressure on postpartum women amid digital transformation. Artificial-intelligence algorithms on digital platforms continuously distribute idealized and aesthetically polished images of the postpartum period: relaxed urban mothers, perfect body shapes, and material and financial abundance. This digital media orientation creates pressure arising from idealized standards of motherhood.

When confronted with difficult biological realities painful surgical wounds, persistent sleep deprivation, and postpartum bodily changes urban women may experience serious cognitive conflict. Comparing themselves with virtual online models may lead them to doubt their own maternal competence. In addition, disordered and unverified health information, with thousands of conflicting views on child-rearing, pushes mothers into cognitive overload and may directly trigger clinical panic attacks. The rise of online criticism, disparagement of maternal competence, and anonymous cyberviolence has turned digital space into a factor that weakens the already vulnerable postpartum woman’s psychological coping and recovery capacity.

3.3. Impact of traditional gender stereotypes and the double burden of roles

A comprehensive assessment of psychosocial factors affecting postpartum women in Vietnam cannot be separated from cultural and gender values. Traditional qualities of kindness, resourcefulness, fidelity, self-sacrifice, and endurance are a source of pride for Vietnamese women. In modern urban social structures, however, these virtues may unintentionally become barriers preventing women from seeking psychological relief. Traditional gender norms tend to encourage Vietnamese women to suppress distress and isolate their emotions because they do not want to become a burden or disrupt family harmony. They may choose to suffer in silence, with the result that 75% of women experiencing postpartum psychological crises remain entirely undetected or medically untreated.

These norms become more pronounced when they intersect with the online workplace culture of the market economy (Bùi Thị Thanh Hà & Nguyễn Đức Long, 2024). Modern urban women carry a double burden: they must undergo childbirth and physical postpartum recovery while caring for the nuclear family, and at the same time face pressure to return to the digital labor market very early. The prevalence of remote-working models and sales pressure blurs the boundaries between day and night and between biological recovery time and working time. Women must remain online around the clock to maintain their income. This profound gender inequality where husbands and society continue to assume that

childcare is women's responsibility while also demanding their economic independence pushes women towards complete exhaustion.

4. Social-Security Policy and Access to Postpartum Mental Healthcare

4.1. Changes in family structure and social-support networks

Urbanization and changes in household models may alter the informal support available to postpartum women. However, it should not be assumed that all nuclear families lack support or that traditional networks are always beneficial. Differences in the quality of support from relatives, friends, communities, and professional services should be analyzed, together with the extent of access to online support.

Online platforms may create both a risk of exposure to misinformation and opportunities to seek support. Assessment of the digital environment's impact should therefore consider both benefits and risks and avoid directly attributing declines in mental health to technology in the absence of causal evidence.

4.2. Health-insurance policy and access to preventive postpartum mental health services

Maternity and social-insurance policies mainly regulate leave and income support, whereas postpartum mental healthcare is governed by other rules on medical examination, treatment, and health insurance. To identify policy gaps, it is necessary to accurately compare effective legal instruments, lists of reimbursable services, and actual service delivery at each level of care; general conclusions that psychological services receive no support should be avoided.

Policy barriers are further reflected in access to mental healthcare under the current legal framework for public health. Although the 2023 Law on Medical Examination and Treatment introduced major progress in administrative procedures, implementing instruments governing the technical services reimbursed by the Health Insurance Fund still reveal considerable inconsistency when examined by level of professional intervention. The Fund currently provides a payment mechanism for psychiatric examinations and treatment of clinically diagnosed mental disorders - including postpartum depression assigned a specific diagnostic code - at specialized or general hospitals with inpatient beds. However, two core stages of prevention and early intervention, namely proactive screening and specialized psychological counselling, remain outside the scope of coverage under the current policy system.

Under Article 23 of the current Law on Health Insurance, screening and early-detection services except for certain pilot roadmaps for cancer and chronic diseases beginning in 2026 and thereafter and health counselling alone are not included among insured benefits. Consequently, an urban postpartum woman noticing early signs of anxiety or self-reproach cannot yet access subsidized proactive screening or clinical psychological intervention at public healthcare facilities. In practice, she must pay out of pocket when seeking services at private counselling centres or psychological clinics, where costs are relatively high. For low-wage urban women, this financial barrier indirectly reduces access to the right to mental healthcare, a human right enshrined in Article 38 of the 2013 Constitution. This creates an urgent need for the State to optimize the health social-safety net and improve equity in service access.

4.3. Digital transformation in health services and access to postpartum mental healthcare

Digital health transformation has the potential to support postpartum follow-up and referrals, but its effectiveness depends on data interoperability, infrastructure, human resources, and processes for protecting sensitive information. This article proposes assessing the current state of implementation before drawing conclusions about system deficiencies.

At present, electronic health records focus primarily on optimizing administrative procedures, civil-status management, or storage of basic physical-health records. There is no intelligent data-interoperability mechanism between a mother's obstetric record at frontline hospitals and the primary preventive-health system at ward or commune health stations for monitoring and assessing psychological changes after she is discharged home. This creates a data gap in continuous follow-up and early identification of mental health risks among postpartum women in the community.

Vietnam's legal framework for remote digital healthcare remains at an early stage and lacks stringent technical standards for online medical examination and treatment, protection of sensitive information belonging to mental health patients, and, particularly, health-insurance payment mechanisms for these digital services. The absence of detailed standards and guidance has slowed the development and

expansion of online psychological support and intervention platforms within the public healthcare system. As a result, postpartum women in urban areas have difficulty finding official channels for professional counselling and are easily influenced by unverified online health information in the absence of standardized remote-support networks. This is a major gap requiring coordinated legislative and technological solutions at the present stage.

5. Proposals for improving gender-sensitive sigital social-security policy in Vietnam

5.1. Improving access to postpartum mental health services

One policy direction is to improve access to postpartum mental health screening and care through services suited to women's needs and circumstances. Solutions should be piloted and evaluated for cost-effectiveness and feasibility before being scaled up.

First, fundamentally reform the Law on Health Insurance and the Law on Medical Examination and Treatment:

Legislative bodies should promptly amend and supplement the legal framework to include screening, counselling, crisis support, and clinical psychological intervention for women within 12 months after childbirth in the basic health-service package, with full or high-rate co-payment coverage by the Health Insurance Fund. Mental health must be recognized and protected on an equal basis with physical health in all legal instruments. This would reduce dependence on out-of-pocket private services, improve equity in access to mental healthcare, restore the right to psychological well-being to its proper status as a human right enshrined in Article 38 of the 2013 Constitution, and promote social equity for all population groups.

Second, develop a National Target Programme on gender-sensitive mental health:

The Government should assign the Ministry of Health to take the lead, in coordination with the Ministry of Labour, Invalids and Social Affairs - or the agencies responsible for social security - and community organizations, in establishing a long-term strategy. Protection and care for the mental well-being of urban postpartum women facing digital pressures should be translated into strategic targets within the planning framework for development of the social-assistance facility network and the National Strategy on Gender Equality. Programme development should be based on assessments of needs, service-delivery capacity, and implementation resources.

5.2. Developing a voluntary digital screening model and an interdisciplinary obstetric and mental health referral network

Digital transformation in maternal healthcare should be directed towards narrowing gaps in service access rather than merely digitizing administrative procedures. To remove psychological barriers that discourage urban postpartum women from proactively seeking professional help, without making them feel monitored or stigmatized, digital social-security policy should establish a continuous mental-healthcare pathway based on three professional pillars:

First, integrate voluntary digital screening into routine perinatal and pediatric care:

Instead of creating separate administrative reporting platforms that may cause apprehension, the Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS) should be integrated directly into the electronic Maternal and Child Health Monitoring Book or the appointment-management applications of maternity hospitals and vaccination facilities. At natural healthcare contact points - the third trimester, before hospital discharge, and the child's vaccination appointments during the first 12 months, the system would invite the mother to complete a brief self-assessment on a mobile device. The process would operate entirely on the basis of voluntary consent under the 2023 Law on Medical Examination and Treatment. The woman's right to decline would be fully respected and would not affect any healthcare entitlement of either mother or child. Digital EPDS results would serve only for initial risk identification to support health workers, would not replace clinical diagnosis, and would be separately encrypted to prevent disclosure of sensitive data.

Second, establish a referral procedure and an interdisciplinary coordination mechanism under professional supervision:

An ethical screening system requires every score above the risk threshold to be matched by the healthcare network's actual response and support capacity. When the system records a high EPDS score

or a warning indicator in item 10 concerning thoughts of self-harm technology should only prioritize triage and must not automatically assign a diagnostic label. Instead, human professional oversight would be activated through an interoperable bridge connecting obstetrics, psychiatry, and primary healthcare.
Gender-sensitive connection and counselling means that, rather than sending administrative warnings that may cause alarm, the coordination system would send an empathetic response and open a channel for priority appointments, either in person or online, with a psychologist or physician at a primary healthcare unit.
For crisis management and information confidentiality, where a physician's clinical assessment identifies an acute risk of self-harm, an emergency referral process would be activated in coordination with the family to establish a safety network. Social workers or community health workers would participate only with the woman's consent and would have access solely to service-coordination information, never to detailed psychological medical records, thereby minimizing barriers created by social stigma (Trần Thu Hà, Ngô Công Khánh, & Võ Văn Bản, 2023).
Third, pilot a subsidized public remote psychological counselling network:
To address limited time, mobility difficulties while caring for a young child, and the cost burden of private facilities for urban women, the Ministry of Health should study a pilot network for remote psychological counselling and therapy within the public healthcare system (World Health Organization, 2022). This model would mobilize inter-hospital resources to connect psychiatrists and clinical psychologists at tertiary hospitals, universities, and professional associations with postpartum women at home through end to end encrypted counselling sessions. It should first be piloted in selected major cities and evaluated against four core criteria: (1) financial feasibility and effectiveness when integrated into the health-insurance co-payment schedule; (2) the response capacity of the public clinical psychology workforce; (3) digital equity through a user friendly, low data interface accessible to migrant and low-income women; and (4) personal-data security and safety standards.

5.3. Developing a safe digital information environment and supporting postpartum women

Measures to improve the quality of online health information should combine evidence-based communication, digital health literacy, and mechanisms for reporting harmful content, while respecting privacy and the right of access to information.
Improve standards for content governance and user protection on digital platforms:
Information and communications authorities should coordinate with social-media platforms to establish mechanisms for moderating and flagging medical misinformation and preventing online bullying targeting postpartum women, thereby ensuring a safe digital environment that respects citizens' privacy.
Build a State-supported, gender-sensitive digital communications ecosystem:
Healthcare and community organizations may work with media agencies to develop trusted digital ecosystems, such as AI maternal support chatbots on Zalo and safe virtual communities. These digital spaces would be responsible for providing verified information and accurate scientific knowledge and promoting husbands' sharing of family responsibilities in the digital economy. In this way, they could create a safe, evidence-based online psychological and social-support network that effectively substitutes for the traditional village support network weakened in modern urban areas.

6. Conclusion

Postpartum mental health among women in urban Vietnam should be approached as a public health issue affected by multiple factors. Digital transformation can create both opportunities for support and new risks involving information exposure, work pressure, and access to services. Existing evidence does not permit direct attribution of mental health changes to the digital environment.
The article proposes considering expanded access to appropriate screening, counselling, and referral, while piloting voluntary EPDS based digital screening where an adequate legal basis, professional procedures, and data protection measures are in place. The proposals need to be evaluated in terms of effectiveness, cost, accessibility, and safety.
Improving postpartum mental health requires coordination among healthcare services, family support, and social policy. Future research should use empirical data to identify unmet needs and evaluate intervention models in the context of urban Vietnam.

REFERENCES

Bệnh viện Hùng Vương. (2024). Báo cáo thực trạng dịch tễ về sức khỏe tâm thần và hội chứng trầm cảm sau sinh ở sản phụ đô thị. Sở Y tế Thành phố Hồ Chí Minh. Bệnh viện Hùng Vương.

Bùi Thị Thanh Hà, Nguyễn Đức Long. (2024). Áp lực kép của phụ nữ đô thị trong nền kinh tế số và hàm ý đối với chính sách an sinh xã hội. Tạp chí Nghiên cứu Lập pháp, 12(456), 28–35.

Nguyễn Thanh Hương và Trần Hùng Minh. (2023). Thực trạng trầm cảm sau sinh tại các đô thị lớn Việt Nam: Một nghiên cứu liên ngành Giới và Y tế công cộng. Tạp chí Y học Dự phòng, 33(4), 112–121.

Nguyen, H. T. T., Hoang, A. P., Do, L. T. K., Schiffer, S., & Nguyen, H. T. H. (2021). The rate and risk factors of postpartum depression in Vietnam from 2010 to 2020: A literature review. Frontiers in Psychology, 12, Article 731306. doi.org

Nguyen, M. N., Nguyen, T. H., & Oei, T. P. S. (2023). Postpartum depression in Vietnam: A scoping review of symptoms, consequences, and management. BMC Women's Health, 23(1), 381. doi.org

Nguyen, T. H., Nguyen, P. T., & Hansson, E. (2021). The Rate and Risk Factors of Postpartum Depression in Vietnam From 2010 to 2020: A Literature Review. Frontiers in Psychology, 12, article 731306. PMC8578872.

Phạm Minh Trí. (2025). Thể chế hóa quyền an sinh xã hội tinh thần trong kỷ nguyên chuyển đổi số tại Việt Nam (Sách chuyên khảo). NXB Tư pháp.

Trần Thu Hà, Ngô Công Khánh, & Võ Văn Bản. (2023). Đánh giá các rối loạn tâm lý của sản phụ đô thị bằng thang đo EPDS: Khảo sát lâm sàng tại các bệnh viện phụ sản tuyến đầu. Tạp chí Tâm lý học Việt Nam, 8(291), 45–58.

World Health Organization. (2020). Maternal mental health: Addressing the shadow crisis in low- and middle-income countries. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization. (2022). World mental health report: Transforming mental health for all. World Health Organization.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PRODUCTION AND EVALUATION OF THE PHYTOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF MIXED SPICES FROM BLENDS OF BAY LEAF, CURRY LEAF, CUMIN, GINGER, NUTMEG AND TURMERIC

Onyekwelu, Chinyere Nkemakona
Obele, Chikwendu Nwabuon[2]
Department of Food Technology and Department of Chemical Engineering,
Federal Polytechnic, Oko, Anambra State, Nigeria

ABSTRACT
This study examined how different blend ratios of mixed spices formulated from bay leaf, curry leaf, cumin seeds, nutmeg, turmeric and ginger influence their phytochemical content and consumer acceptability. Three formulations (Sp1, Sp2 and Sp3) containing the spices in different proportions were prepared, coded and evaluated for phytochemical composition and sensory attributes using standard methods. Sp1 (10% bay leaf, 50% curry leaf, 10% nutmeg, 5% cumin, 15% ginger and 10% turmeric) had the highest flavonoid (124.64 mg/100 g), phenol (161.18 mg/100 g) and saponin (30.65 mg/100 g) contents, indicating greater antioxidant and health-promoting potential, whereas Sp3 had the highest tannin content (9.86 mg/100 g), which may reduce sensory appeal. Sp1 also scored significantly higher than the other two blends for appearance, aroma, taste, mouthfeel and overall acceptability. The findings show that spice blends enriched with curry leaf, turmeric and ginger improve both the sensory appeal of dishes and the phytochemical value of the spice mix. Optimized spice formulations of this kind therefore offer natural, health-promoting alternatives with good consumer acceptability for food product development.
Keywords: mixed spice; cumin; nutmeg; bay leaf; curry leaf; turmeric

INTRODUCTION
Spices are plant parts, including leaves, seeds, fruits, pods, buds, bark, bulbs, stalks and roots, that are used dried, powdered, broken, fresh or ripe, mainly to improve the flavour, taste, colour or keeping quality of food. Garlic, ginger, hyssop, juniper berry, mustard, pepper, pomegranate, thyme, vanilla, bay leaf and nutmeg are some examples (Akeem *et al.*, 2016). Spices have also long been valued for their therapeutic uses, for instance in managing stomach ache, leprosy, cough, loss of appetite, rheumatoid pain, convulsion and inflammation (Valko, 2017). They contain valuable biochemical compounds, such as proteins, tannins, saponins, flavonoids, tannic acid, anthocyanins and coumarins, that benefit health (Harsha *et al.*, 2017; Jyothiprabha and Venkatachalam, 2016).
Bay leaf (*Cinnamomum tamala*), commonly called 'Tejpatta', is used as a spice, stimulant, carminative, antibacterial and antifungal agent, and in the treatment of rheumatism, diarrhoea, colic, spleen enlargement and snakebite (Virendra *et al.*, 2012). The popular culinary bay leaf consists of mature, dried *C. tamala* leaves (Raman *et al.*, 2017). Besides serving as a condiment, the highly aromatic leaves are used in Ayurveda to treat various ailments (Peter, 2006). The herb is an effective antioxidant, antidiabetic, diuretic and appetite stimulant (Magee, 2015), and it contains many important chemical compounds, minerals, vitamins and essential oils (Ebadi, 2010).
Curry leaf (*Murraya koenigii*) is an important leafy spice used as a natural flavouring in curries, pickles and chutneys (Khedkar, 2015). The leaves taste slightly bitter, cooling and mildly acidic, and their volatile oils give them a distinctive aroma. They keep their colour and flavour when dried and are therefore used both fresh and dried. Curry leaves are known worldwide for their antibacterial, antifungal and antioxidant properties and for their pesticidal and nutraceutical potential (Khedkar, 2015). Bioactive compounds such as oxalic acid, vitamin A, koenigin, bicyclomahanimbicine, cyclomahanimbine, murrayastine, coumarin, koenidine and pypayafoline carbazole contribute to this nutraceutical potential. The leaves are also rich in fibre, minerals and vitamins, notably calcium, iron, phosphorus, carotene, niacin, vitamin B2 and vitamin C (Ganesan *et al.*, 2013), and are a particularly good source of vitamin A and calcium.

Nutmeg (*Myristica fragrans*) is an evergreen tree native to the rainforests of Indonesia and belongs to the family Myristicaceae. It is widely known for its aromatic, aphrodisiac and curative properties (Lee *et al.*, 2005). The seed is used in powdered form to flavour cakes, candies, meat, biscuits and sausages. Traditionally, nutmeg has been used to improve blood circulation and stimulate the cardiovascular system. It also aids digestion, relieves stomach pain, gas, flatulence, vomiting and diarrhoea, and stimulates the appetite. Because it can ease respiratory problems such as the cough that accompanies a common cold, it is sometimes included in cough syrups. The literature describes nutmeg as antioxidant and antimicrobial (Yilmaz *et al.*, 2013), antibacterial (Yashin *et al.*, 2017), cytotoxic and apoptotic (Lee *et al.*, 2015) and anti-diarrhoeal (Olaleye *et al.*, 2006).

Cumin (*Cuminum cyminum*, Apiaceae) has been known since biblical times and is used to relieve flatulence and colic. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*, Fabaceae) is reported to help with indigestion, flatulence, sluggish liver, blood glucose, cholesterol, circulation, heart health, blood pressure and diabetes (Dangi *et al.*, 2004).

Ginger (*Zingiber officinale*) is a flowering plant whose rhizome, known as ginger root or simply ginger, is widely used as a spice and folk medicine. It helps to lower cholesterol, relieve arthritic pain, ease digestive problems, act as an expectorant and stimulate the gastrointestinal tract. Its characteristic odour and flavour come from a mixture of zingerone, shogaol and gingerol (Kikuzaki and Nakatani, 2006; Haksar *et al.*, 2006). Ginger has been reported to contain 1.5–3% essential oil, 2–12% fixed oil, 40–70% starch, 6–20% protein, 3–8% fibre, about 8% ash and 9–12% water, together with pungent principles, other saccharides, cellulose, colouring matter and trace minerals (Peter, 2000).

Turmeric (*Curcuma longa*) is an ancient Indian spice and traditional remedy used as a medicine, condiment and flavouring. It is common in South Asian and Middle Eastern cooking, is a major ingredient of curry powder, and is the spice that gives curry its yellow colour. It has also been used in Ayurveda and other traditional systems of medicine for various conditions. Its main active component, curcumin, has potential healing properties owing to its strong anti-inflammatory and antioxidant activity. The root has been used in India and China for thousands of years, both as a spice and as a medicine for conditions such as heartburn, diarrhoea, bloating, colds, fibromyalgia and depression. Because it is reputed to have antibacterial properties, it is sometimes applied to the skin to treat ringworm and infected wounds.

Mixed spices made from blends of bay leaf, curry leaf, cumin, ginger, nutmeg and turmeric have attracted considerable attention in recent years because of their potential health benefits and culinary uses. Each spice contributes different nutritional properties. Bay leaves are rich in fibre, vitamins, minerals and antioxidants, cumin and turmeric are known for their high carbohydrate content, and ginger adds fibre (Srinivasan, 2018). Nutmeg is rich in fat and fibre, while curry leaves have a sweet, citrusy flavour with a hint of pepperiness. These spices can be used in traditional cooking and in food product development (Raghavan, 2018).

Indigenous spices remain heavily under-exploited despite their considerable dietary potential. There is therefore a strong need to explore these plants for the development of new mixed spices and condiments. Doing so would benefit the nation and reduce spending on imported spice mixes and condiments, which may not be wholly natural or healthy because of the ultra-processing involved in their production. This study was undertaken to standardize the formulation and processing parameters of mixed spices made from bay and curry leaves, cumin and nutmeg seeds, and ginger and turmeric rhizomes, and to evaluate their phytochemical and sensory properties.

MATERIALS AND METHODS

Procurement of raw materials

Bay and curry leaves, cumin and nutmeg seeds, and ginger and turmeric rhizomes were purchased from Eke Ekwulobia in Aguata North LGA, Anambra State, Nigeria. They were transported to the Food Processing Laboratory of the Department of Food Technology, Federal Polytechnic, Oko, Anambra State, and stored until needed.

Preparation of cumin powder

Cumin powder was prepared according to Balch *et al.* (2010). The seeds were winnowed to remove

impurities, toasted in a local pot at about 120 °C for 3–5 min and ground into a fine powder. The powder was sieved and stored in an airtight container until needed for analysis. The production process is summarized in Fig. 1.

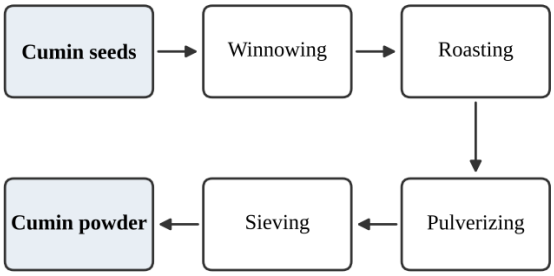


Fig. 1. Flow chart for the production of cumin powder.

Preparation of nutmeg powder

Nutmeg powder was produced by the method of Balch *et al.* (2010). The nutmegs were graded and grated, and the grated material was roasted in an oven, cooled, sieved to a fine powder and packaged in an airtight container (Fig. 2).

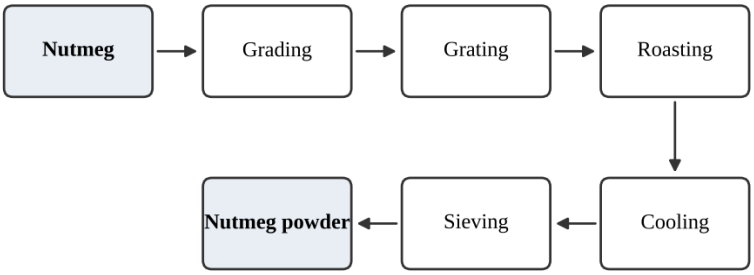


Fig. 2. Flow chart for the production of nutmeg powder.

Preparation of curry and bay leaf powders

Curry and bay leaf powders were produced according to Olatoye *et al.* (2021). Fresh leaves were washed to remove dirt, blanched in steam for 90 s and drained. The blanched leaves were shredded, spread on large trays and air-dried in a sterile environment for 3 days. They were then pulverized in an electric blender to increase the surface area, sieved through a stainless-steel mesh and stored separately in sterile plastic containers until use (Fig. 3).

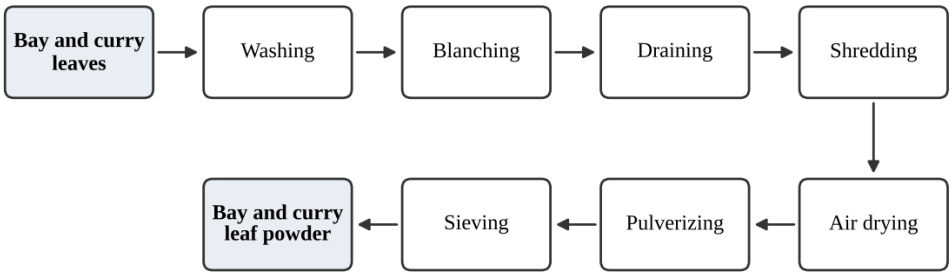


Fig. 3. Flow chart for the production of bay and curry leaf powders.

Preparation of ginger and turmeric powders

Ginger and turmeric powders were prepared by the method of Anyamaobi *et al.* (2019) with slight modification. The rhizomes were washed with potable water, peeled manually with a sterile kitchen knife, chopped and dried in a cabinet dryer at 60 °C for 72 h. The dried chips were ground into a fine powder, sieved and kept in an airtight container until required (Fig. 4).

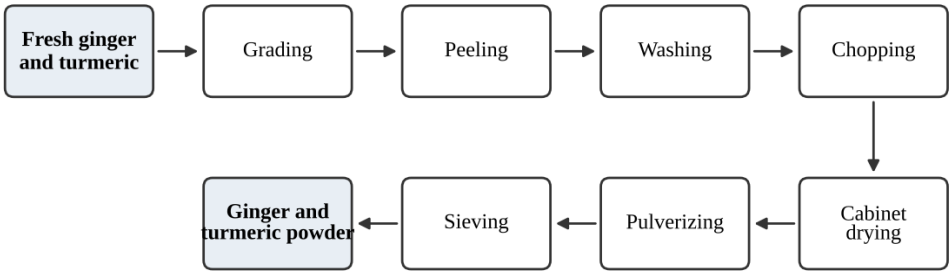


Fig. 4. Flow chart for the production of ginger and turmeric powders. Source: Olatoye *et al.* (2021).

Formulation of the mixed spices

The powders of the six spices were blended in the proportions shown in Table 1 to give three mixed spice formulations (Sp1, Sp2 and Sp3).

Table 1. Blend ratios of the mixed spice formulations

Sample	Bay leaf	Curry leaf	Nutmeg	Cumin	Ginger	Turmeric
Sp1	2.0	2.5	0.5	0.5	0.5	10
Sp2	1.5	3.0	1.0	1.0	2.5	–
Sp3	0.5	2.5	2.5	–	1.5	1.0

– = not included.

Phytochemical analysis

Determination of flavonoid content

Ten grams of sample were repeatedly extracted with 100 ml of 80% aqueous methanol at room temperature. The extract was filtered through Whatman No. 1 filter paper, and the filtrate was transferred to a crucible, evaporated to dryness over a water bath and weighed. Flavonoid content was calculated as a percentage of the weight of sample analysed.

Determination of phenol content

Phenol content was determined by the Folin–Ciocalteu colorimetric method. About 0.2 g of sample was placed in a test tube with 10 ml of methanol, shaken thoroughly, left to stand for 15 min and filtered through Whatman No. 42 filter paper. One millilitre of the extract was mixed with 1 ml of Folin–Ciocalteu reagent in 5 ml of distilled water, and the colour was allowed to develop for 1–2 h at room temperature. Absorbance was read at 760 nm. The procedure was repeated twice more, and the mean was used to calculate phenol content.

Determination of saponin content

Saponin was determined by the method of AOAC (2020). Five grams of sample were mixed with ethanol, left for 10 min and centrifuged. The extract was dried in a water bath and cooled, and 2 ml of ethyl acetate was added, followed by 1 ml of a reagent prepared from 0.5 ml anisaldehyde in 99.5 ml ethyl acetate and then 1 ml of concentrated sulphuric acid in 50 ml ethyl acetate. After stirring, the mixture was incubated in a water bath at 60 °C for 20 min and cooled for 10 min, and its absorbance was read at 470 nm against a blank. Saponin content was calculated as:

$$\text{Saponin (\%)} = [(\text{weight of dish + saponin} - \text{weight of empty dish}) / \text{sample size}] \times 100$$

Determination of tannin content

Tannin was determined by the Folin–Ciocalteu method. Samples were extracted with 70% aqueous acetone for 2 h at room temperature with shaking and then centrifuged. A portion of the supernatant was reacted with Folin–Ciocalteu reagent and sodium carbonate and left in the dark for 30 min. Absorbance was read at 725 nm against a tannic acid calibration curve, and results were expressed as mg tannic acid equivalents per 100 g.

Sensory evaluation

Sensory attributes of foods prepared with the spice blends (appearance, aroma, taste, mouthfeel and

overall acceptability) were evaluated on freshly prepared samples using a 9-point hedonic scale (1 = dislike extremely, 9 = like extremely). The three samples were assessed by a semi-trained panel of 20 Food Technology students. Each blend was used to cook jollof rice, which was served to the panellists for assessment. Cold drinking water was provided for rinsing the mouth between samples.

Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and means were separated with Duncan's Multiple Range Test using GenStat software, version 12 (2023).

RESULTS AND DISCUSSION

Phytochemical composition of the mixed spice blends

Phytochemicals are secondary metabolites in spices and herbs that contribute to flavour and aroma as well as to health-promoting properties, including antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory effects (Okwu, 2004; Shahidi and Ambigaipalan, 2015). The flavonoid, phenol, tannin and saponin contents of the three blends (Table 2) differed significantly, which can be linked to the proportions of bay leaf, curry leaf, ginger, nutmeg, cumin and turmeric in each formulation.

Table 2. Phytochemical composition of mixed spices from blends of bay leaf, curry leaf, cumin, ginger, nutmeg and turmeric (mg/100 g)

Sample	Flavonoid	Phenol	Tannin	Saponin
Sp1	$124.64^{ca} \pm 0.50$	$161.18^{ca} \pm 3.45$	$2.17^{ab} \pm 0.10$	$30.65^{ba} \pm 1.05$
Sp2	$81.55^{bb} \pm 1.27$	$135.48^{b} \pm 1.07$	$2.13^{ab} \pm 0.02$	$25.78^{ab} \pm 1.56$
Sp3	$66.88^{ac} \pm 1.29$	$123.82^{ac} \pm 2.16$	$9.86^{ba} \pm 0.17$	$24.28^{ab} \pm 1.22$

Values are means ± standard deviation of triplicate determinations. Means with the same superscript within a column are not significantly different ($P > 0.05$).

Key:

Sp1 = 10% bay leaf, 50% curry leaf, 10% nutmeg, 5% cumin, 15% ginger, 10% turmeric
Sp2 = 13% bay leaf, 39% curry leaf, 13% nutmeg, 6% cumin, 17% ginger, 12% turmeric
Sp3 = 15% bay leaf, 20% curry leaf, 15% nutmeg, 10% cumin, 25% ginger, 15% turmeric

Flavonoids

Flavonoids are polyphenolic compounds with strong antioxidant properties that protect against oxidative stress and chronic disease (Panche *et al.*, 2016). Sp1 had the highest flavonoid content (124.64 mg/100 g), followed by Sp2 (81.55 mg/100 g) and Sp3 (66.88 mg/100 g). The high proportion of curry leaf in Sp1 (50%) probably accounts for this, since curry leaf is particularly rich in quercetin, kaempferol and other flavonoids (Handral *et al.*, 2012). Turmeric and ginger also contribute flavonoids such as curcumin and catechins (Prasad and Aggarwal, 2011).

The lower values in Sp2 and Sp3 may be due to their smaller proportions of curry leaf and larger proportions of bay leaf and ginger, which contain flavonoids in comparatively smaller amounts (Shan *et al.*, 2005). These findings agree with Nanasombat and Lohasupthawee (2005), who found that curry-leaf-based spice blends had superior flavonoid activity compared with other herbs.

Phenols

Phenolic compounds have strong antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory effects (Shahidi and Naczk, 2004). Sp1 again had the highest phenol content (161.18 mg/100 g), followed by Sp2 (135.48 mg/100 g) and Sp3 (123.82 mg/100 g). This can also be linked to curry leaf and turmeric, both of which are rich in phenolic compounds such as ferulic acid, caffeic acid and curcuminoids (Gounder and Lingamallu, 2012; Prakash, 2016).

The lower value for Sp3 may reflect its higher ginger and bay leaf content: although ginger contains phenolic compounds such as gingerols and shogaols, its total phenolic concentration is usually lower than that of turmeric and curry leaf (Ali *et al.*, 2008). Shan *et al.* (2005) similarly observed higher phenolic contents in turmeric and curry leaf extracts than in nutmeg and cumin.

Tannins

Tannins are polyphenolic compounds with astringent and antimicrobial properties. Sp3 had a significantly higher tannin content (9.86 mg/100 g) than Sp1 (2.17 mg/100 g) and Sp2 (2.13 mg/100 g). This may be attributed to its higher proportions of ginger (25%) and bay leaf (15%), both of which contain considerable amounts of tannins (Sasidharan *et al.*, 2011).

Although tannins have health benefits, such as reducing oxidative stress, their astringency can adversely affect sensory perception (Okuda, 2005). This is consistent with Chung *et al.* (2008), who noted that excessive tannins impart bitterness and reduce the palatability of spice-rich foods.

Saponins

Saponins are glycosides with potential cholesterol-lowering, immune-boosting and antimicrobial properties (Francis *et al.*, 2002). Sp1 had the highest saponin content (30.65 mg/100 g), followed by Sp2 (25.78 mg/100 g) and Sp3 (24.28 mg/100 g). The higher value in Sp1 may be due to turmeric and curry leaf, which are reported to contain significant amounts of saponins (Sasikumar, 2011; Prakash, 2016).

The lower values in Sp2 and Sp3 may result from their larger proportions of bay leaf and nutmeg, which contain comparatively less saponin (Shan *et al.*, 2005). Oboh *et al.* (2010) likewise reported that spice blends rich in turmeric and ginger often contain more saponins, which contributes to their antimicrobial effects.

Sensory evaluation of the mixed spice blends

Sensory evaluation is a key quality assessment tool for food products, because consumer acceptance depends largely on attributes such as appearance, aroma, taste, mouthfeel and overall acceptability (Stone and Sidel, 2004; Lawless and Heymann, 2010). The mean sensory scores of foods prepared with the three blends are presented in Table 3.

Table 3. Mean sensory scores of foods prepared with mixed spices from blends of bay leaf, curry leaf, cumin, ginger, nutmeg and turmeric

Sample	Appearance	Aroma	Taste	Mouthfeel	Overall acceptability
Sp1	$8.60^{ba} \pm 1.20$	$8.35^{ba} \pm 1.01$	$8.25^{ba} \pm 2.21$	$8.35^{ba} \pm 0.09$	$8.20^{ba} \pm 1.56$
Sp2	$6.60^{ac} \pm 2.02$	$6.75^{ab} \pm 0.56$	$6.10^{ab} \pm 0.09$	$6.85^{ab} \pm 0.32$	$7.16^{ab} \pm 0.19$
Sp3	$7.25^{ab} \pm 1.32$	$6.95^{abb} \pm 0.18$	$7.25^{abb} \pm 1.20$	$7.35^{abb} \pm 0.02$	$7.12^{ab} \pm 2.03$

Values are means ± standard deviation. Means with the same superscript within a column are not significantly different ($P > 0.05$).

Key:

Sp1 = 10% bay leaf, 50% curry leaf, 10% nutmeg, 5% cumin, 15% ginger, 10% turmeric
Sp2 = 13% bay leaf, 39% curry leaf, 13% nutmeg, 6% cumin, 17% ginger, 12% turmeric
Sp3 = 15% bay leaf, 20% curry leaf, 15% nutmeg, 10% cumin, 25% ginger, 15% turmeric

Appearance

Mean appearance scores ranged from 6.60 to 8.60. Sp1 (8.60) scored highest, suggesting that its composition (50% curry leaf, 15% ginger and 10% turmeric) produced a visually appealing blend. The appearance of spice blends is influenced by pigmentation, uniformity and particle size (Meilgaard *et al.*, 2007). Curry leaf and turmeric improve the colour of spice mixtures because of their chlorophyll and curcuminoid contents, respectively (Gounder and Lingamallu, 2012). Sp2 (6.60) and Sp3 (7.25) were less visually preferred, possibly because their higher bay leaf proportions can give dishes a darker, uneven colour. Prakash (2016) likewise reported that turmeric, cumin and curry powder contribute significantly to the brightness and attractiveness of spice formulations, and Choudhury *et al.* (2011) noted that turmeric-rich blends often score higher for appearance because of their vibrant golden colour.

Aroma

Aroma depends largely on volatile oils and their synergistic interactions (Peter, 2006). Sp1 (8.35)

received the highest aroma score, indicating that its balance of curry leaf, nutmeg, cumin and ginger produced a pleasant smell. Curry leaves contain linalool and caryophyllene, which give fresh, citrus-like notes (Sasikumar, 2011), while nutmeg contributes sweet, warm aromatic compounds such as myristicin and safrole (Burdock, 2010). Sp2 (6.75) and Sp3 (6.95) scored lower, possibly because the stronger herbal notes of bay leaf, which contains cineole and eugenol, overpowered the aroma profile of the dish (Shan *et al.*, 2005). Shukla *et al.* (2013) similarly observed that spice mixtures with excess bay leaf developed overpowering aromas that reduced consumer preference.

Taste

Taste scores differed significantly, ranging from 6.10 to 8.25. Sp1 (8.25) was rated highest, reflecting a balance of pungency from ginger, mild bitterness from turmeric and flavour depth from curry leaf. According to Singh *et al.* (2010), well-balanced blending improves taste perception by masking undesirable flavours and enhancing desirable ones. Ginger contains gingerols and gives a warming, spicy taste (Ali *et al.*, 2008), while turmeric adds a subtle earthy bitterness (Prakash, 2016).

Sp2 (6.10) had the lowest taste score, suggesting that its higher nutmeg and bay leaf proportions created an imbalance and a less favourable taste. Onyeoziri *et al.* (2016) found that excessive nutmeg in spice blends can make the taste slightly bitter and overpowering, which agrees with this result. Sp3 (7.25) was intermediate; its high ginger content (25%) produced a stronger pungency that some panellists liked and others did not. This is consistent with Shobana and Naidu (2000), who noted that strong pungency in spice-rich blends can divide consumer preference.

Mouthfeel

Mouthfeel refers to the texture and tactile sensations of food (Meilgaard *et al.*, 2007). Sp1 (8.35) scored best, which may be linked to a smoother balance of the fibrous components of curry leaf, ginger and turmeric. Balanced spice formulations generally give a more pleasant sensation in the mouth (Shan *et al.*, 2005).

Sp2 (6.85) was the least preferred, probably because of its higher bay leaf content; bay leaf is fibrous and can make the mouthfeel coarser. This agrees with Ali *et al.* (2008), who reported that ground bay leaf can leave residual roughness at higher concentrations. Sp3 (7.35) scored moderately: its high ginger and turmeric content gave pungency and warmth but may have left a slightly harsh aftertaste, similar to the report of Sharma *et al.* (2012) that high concentrations of pungent spices affect mouth-coating and the perception of astringency.

Overall acceptability

Taking all attributes together, Sp1 (8.20) was the most acceptable blend, indicating that the balance of curry leaf, ginger and turmeric was the most appealing to consumers. Overall acceptability is usually highest when no single spice dominates the sensory profile (Stone and Sidel, 2004). Sp2 (7.16) and Sp3 (7.12) were less accepted, which may reflect imbalances caused by excess bay leaf or ginger. Okoye *et al.* (2019) similarly concluded that spice blends with moderate proportions of several spices were preferred to those with unbalanced ratios, and Sharma *et al.* (2012) observed that curry- and turmeric-rich blends tend to score higher on overall acceptability because they improve taste, aroma and appearance together.

CONCLUSION

The blend formulation significantly influenced both the consumer acceptability and the bioactive composition of mixed spices made from bay leaf, curry leaf, cumin, ginger, nutmeg and turmeric. The blend with the highest proportions of curry leaf, ginger and turmeric (Sp1) consistently scored higher than Sp2 and Sp3 for appearance, aroma, taste, mouthfeel and overall acceptability. This suggests that a balanced ratio with fewer fibrous or pungent components gives better consumer appeal.

Sp1 also had the highest flavonoid, phenol and saponin contents, confirming that curry leaf and turmeric contribute substantially to the antioxidant and health-promoting properties of the blend. Sp3 had the highest tannin content, which, although beneficial for antimicrobial activity, may impair sensory quality because of its astringency.

In conclusion, spice formulations enriched with curry leaf and turmeric improve both the sensory qualities and the functional value of spice blends. Carefully optimized spice mixtures therefore have the

potential to improve the consumer acceptability and nutritional quality of foods.

REFERENCES

Akeem, O. S., Kareem, K. T., & Alagbe, O. M. (2016). Chemical composition and antimicrobial activity of some selected spices. *International Journal of Food Science and Nutrition, 1*(6), 35–38.

Anyamaobi, C. C., Olatunde, G. O., & Alabi, M. O. (2019). Comparative study on the phytochemical and antioxidant properties of fresh and dried ginger (*Zingiber officinale*). *International Journal of Food Science and Nutrition, 4*(1), 41–45.

AOAC. (2019). *Official methods of analysis* (21st ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Apisariyakul, A., Vanittanakom, N., & Buddhasukh, D. (2005). Antifungal activity of turmeric oil extracted from *Curcuma longa* (Zingiberaceae). *Journal of Ethnopharmacology, 49*(3), 163–169.

Balch, J. F., Balch, P. A., & James, F. B. (2010). *Prescription for nutritional healing: A practical A-to-Z reference to drug-free remedies using vitamins, minerals, herbs & food supplements* (5th ed.). Avery Publishing Group.

Choudhury, D., Sahu, J. K., & Sharma, G. D. (2011). Development of turmeric-based spice mix and its consumer acceptability. *International Journal of Food Science & Nutrition, 62*(3), 270–274.

Chung, K. T., Wong, T. Y., Wei, C. I., Huang, Y. W., & Lin, Y. (2008). Tannins and human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 38*(6), 421–464.

Cikrikci, S., Mozioglu, E., & Yilmaz, H. (2008). Biological activity of curcuminoids isolated from *Curcuma longa*. *Records of Natural Products, 2*(1), 19–24.

Dangi, R. S., Lagu, M. D., Choudhary, L. B., Ranjekar, P. K., & Gupta, V. S. (2004). Assessment of genetic diversity in *Trigonella foenum-graecum* and *Trigonella caerulea* using ISSR and RAPD markers. *BMC Plant Biology, 4*(13), 1–11.

Deepak, K., Sharma, R., & Prasad, K. (2018). Nutritional and therapeutic properties of cumin (*Cuminum cyminum* L.): A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 7*(4), 15–22.

Dziezak, J. D. (1989). Innovation food trends: Spices. *Food Technology, 43*(1), 102–116.

Ebadi, M. (2010). *Phytochemicals as nutraceuticals: Global approaches to their role in nutrition and health*. CRC Press.

Fasolin, L. H., et al. (2019). Proximate composition and bioactive compounds of spices. *Journal of Food Science and Technology, 56*(4), 2086–2095.

Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. *British Journal of Nutrition, 88*(6), 587–605. https://doi.org/10.1079/BJN2002725

Ganesan, K., Gani, S. B., & Ramar, M. (2013). Phytochemical constituents and antibacterial activity of curry leaves (*Murraya koenigii*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2*(6), 219–228.

Ganesh, P., Kumari, K., & Ranganathan, V. (2014). Therapeutic potential of spices in the management of lifestyle diseases. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 5*(8), 3000–3005.

Gibson, E. L., Wardle, J., & Watts, C. J. (1998). Fruit and vegetable consumption, nutritional knowledge and beliefs in mothers and children. *Appetite, 31*, 205–228.

Jiang, Y. (2019). Spices as functional foods: An overview. *Food Science and Human Wellness, 8*(1), 29–36.

Jyothiprabha, V., & Venkatachalam, P. (2016). Preliminary phytochemical screening of different solvent extract of selected Indian spices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 5*(2), 116–122.

Kala, C. P. (2016). Traditional herbal medicines and their role in health care system. *Journal of Medicinal Plants Studies, 4*(3), 123–131.

Karki, M. B., Karki, S., & Uprety, Y. (2003). Bay leaf cultivation in India: A viable livelihood option. *Non-Timber Forest Products Journal, 10*(4), 14–17.

Khedkar, R. (2015). Nutraceutical potential of curry leaves (*Murraya koenigii*). *International Journal*

of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry, *4*(1), 56–63.
Kikuzaki, H., & Nakatani, N. (2006). Antioxidant effects of some ginger constituents. *Journal of Food Science*, *58*(6), 1407–1410.
Kishore, N., & Jain, A. (2020). Ethnobotanical and traditional uses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in Egypt and its global expansion. *Ancient Science of Life*, *39*(1), 34–41.
Nanasombat, S., & Lohasupthawee, P. (2005). Antibacterial activity of crude ethanolic extracts and essential oils of spices against *Salmonella* and other Enterobacteria. *KMITL Science and Technology Journal*, *5*(3), 527–538.
Nybe, E. V., Mini, R. I., & Peter, K. V. (2007). *Ginger: The genus Zingiber*. CRC Press.
Oboh, G., Raddatz, H., & Henle, T. (2010). Antioxidant properties of polar and non-polar extracts of some tropical green leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(14), 2486–2492.
Okoye, J. I., Nkwocha, A. C., & Nwankwo, C. N. (2019). Formulation and evaluation of spice blends for soup preparation. *Nigerian Food Journal*, *37*(2), 15–25.
Okuda, T. (2005). Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants. *Phytochemistry*, *66*(17), 2012–2031.
Okwu, D. E. (2004). Phytochemicals and vitamin content of indigenous spices of south eastern Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture and the Environment*, *6*(1), 30–37.
Olaleye, M. T., & Crown, O. C. (2006). Evaluation of the anti-diarrhoeal properties of nutmeg extract. *African Journal of Biotechnology*, *5*(22), 2175–2177.
Olatoye, K. K., Adegoke, O. G., & Ogunwolu, S. O. (2021). Production and evaluation of spice powder from blends of ginger, scent leaf and turmeric. *Nigerian Journal of Food Science and Technology*, *39*(2), 55–62.
Peter, K. V., & Shylaja, M. (2012). Introduction to spices. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of herbs and spices* (2nd ed., Vol. 1, pp. 1–18). Woodhead Publishing.
Prakash, D. (2016). Antioxidant phytochemicals and their health benefits: A review. *Food Science and Quality Management*, *56*, 47–56.
Prasad, S., & Aggarwal, B. B. (2011). Turmeric, the golden spice: From traditional medicine to modern medicine. In B. B. Aggarwal, A. B. Kunnumakkara, & R. R. Anand (Eds.), *Herbal medicine: Biomolecular and clinical aspects* (2nd ed., pp. 263–288). CRC Press.
Shahidi, F., Peng, H., & Parniak, S. (2018). Bioactive compounds in spices and their role in food preservation. In G. L. Robertson (Ed.), *Food packaging and shelf life* (pp. 295–318). CRC Press.
Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(20), 7749–7759.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FORMULATION AND OPTIMIZATION OF TRANSFERSOMAL GEL OF METFORMIN FOR TRANSDERMAL DELIVERY USING A 3^2 FACTORIAL DESIGN

M.NARMATHA
M.Pharm First year, Faculty of pharmacy Bharath Institute Of Higher Education and Research , Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India .
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3067-238X
Dr.R.DEVI
GUIDE AND PROFESSOR
Department of Pharmaceutics , Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur Chennai, Tamil Nadu, India.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6554-6771
Dr.R.SRINIVASAN
DEAN AND PROFESSOR
Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research ,Selaiyur Chennai, Tamil Nadu, India.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1931-3328

Abstract
Background:Metformin hydrochloride is the first-line drug for type 2 diabetes mellitus, but oral therapy is limited by incomplete absorption, a short half-life that requires multiple daily doses, and frequent gastrointestinal side effects. Transdermal delivery can avoid these problems, but the skin barrier restricts permeation of hydrophilic drugs. Transfersomes are ultradeformable vesicles that can squeeze through the stratum corneum and carry drugs into deeper skin layers. Aim:This study proposes to develop and optimize a transfersomal gel of metformin for sustained transdermal delivery. Methods:Transfersomes will be prepared by the thin-film hydration method using soya phosphatidylcholine and Span 80 as edge activator. A 3^2 factorial design will be applied, with phospholipid amount and edge activator concentration as independent variables and vesicle size, entrapment efficiency, and cumulative drug permeation as responses. The optimized vesicles will be incorporated into a Carbopol gel and evaluated for pH, viscosity, spreadability, drug content, and extrudability. Vesicles will be characterized for zeta potential, deformability index, and morphology, and ex vivo permeation will be studied through animal skin using a Franz diffusion cell. Expected outcomes: The optimized formulation is expected to produce nano-sized, deformable vesicles with acceptable entrapment efficiency and a skin-compatible gel (pH 5.5-7.0) that gives sustained ex vivo drug permeation. Conclusion: The proposed transfersomal gel may offer a non-invasive, patient-friendly alternative to oral metformin by avoiding gastrointestinal exposure and reducing dosing frequency. In vivo studies will be needed to confirm its performance.
Keywords: metformin, transfersomes, transdermal delivery, edge activator, factorial design

INTEGRATING PLANT PHYSIOLOGY INTO CROP BREEDING PROGRAMS: FROM FUNCTIONAL PHENOTYPING TO YIELD POTENTIAL, STRESS ADAPTATION AND SUSTAINABLE CROP IMPROVEMENT

Anas Hamdani
Plant Breeding and Genetic Resources Conservation Unit, Regional Center of Agricultural Research of Settat, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415, Rabat Principale 10090, Rabat, Morocco.
Atman Adiba
Regional Agricultural Research Center of Tadla, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, P.O. Box 415, Rabat 10090, Morocco.
Abdellatif Boutagayout
Research Unit on Environment and Conservation of Natural Resources, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415, Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco.

Abstract
Traditionally, plant breeding programs have been based on many approaches, notably selection based solely on yield and its components, but this approach remains scientifically limited because the yield is always influenced by environmental factors, particularly agroclimatic and edaphic factors. Thus, this approach neglects the measurement of physiological parameters related to yield and stress tolerance and leads to screening successful genotypes under favorable conditions but sensitive to water and heat stress conditions. That is why today the integration of physiology in plant breeding can force the selection approach and make it more scientifically effective. As well as the understanding of physiological mechanisms related to productivity, adaptability and efficiency in the use of natural resources including water, light and nutrients is a potentially promising target for improvement. To strengthen agronomic performance and the precision of improvement, it is preferable to integrate the molecular approach, particularly molecular and genomic tools in addition to plant physiology, into improvement programs. This allows the development of genotypes with high yield potential, stability during generation and resilient under conditions both exposed and predicted by climate change.
***Keywords*:** Breeding programs, Physiological traits, Yield, Tolerance, Molecular approach.

FORMULATION AND CHARACTERIZATION OF LABNEH-TYPE DAIRY PRODUCTS FROM BUFFALO MILK UNDER DIFFERENT PROCESSING CONDITIONS

Maria-Ioana SOCACIU
Delia MICHIU
Alexandra-Raluca BORȘA (BOGDAN)
Melinda FOGARASI
Cristina Anamaria SEMENIUC
Faculty of Food Science and Technology ,University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Romania

Introduction: Labneh is a concentrated fermented dairy product obtained by partial whey drainage from yogurt. Buffalo milk, due to its higher fat, protein and total solids content than cow milk, can improve the nutritional and sensory quality of labneh-type products.
Aim: To develop a buffalo milk labneh-type product and evaluate the effects of fermentation regime (short vs. long) and salt concentration (1% vs. 2%) on sensory quality, physicochemical characteristics, freshness indicators during refrigerated storage.
Materials and Methods: Standardized buffalo milk was inoculated with a thermophilic starter culture (*Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) at two inoculation levels, generating short and long fermentation at 43°C until pH 4.6. The coagulum was cooled, drained for 24 h and mixed with 1% or 2% NaCl to obtain four formulations (SF1, SF2, LF1, LF2), then packed in 100 g jars and stored at 2–4°C. Sensory acceptance and purchase intention were assessed through sensory evaluation, and the best-rated sample was analyzed for proximal composition and freshness parameters during 21 days.
Results: The formulation with short fermentation and 1% salt (SF1) obtained the highest sensory acceptance and purchase intention scores, being described as fresh, with balanced acidity, mild saltiness and creamy texture. SF1 showed high protein and total solids, moderate fat and energy density, and maintained acceptable pH and titratable acidity over refrigerated storage, with limited syneresis, indicating good stability.
Conclusion: Short fermentation combined with 1% salt and buffalo milk yielded a labneh-type product with superior sensory quality and favourable nutritional and freshness attributes, suitable for premium positioning and scalable to pilot or small industrial units, supporting diversification of fermented dairy assortments based on non-bovine milk.
Keywords: buffalo milk; labneh; fermentation regime; salt concentration; thermophilic starter cultures

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF PLATINUM-DOPED GRAPHENE FOR CARBON CAPTURE: A HYBRID-QUANTUM MECHANICS STUDY

Mubarak RABIU
Toyese OYEGOKE
CAD-Engineering of Processes and Reactive Interfaces Group, Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University, Samaru, Sabon-Gari LGA, Zaria 810106, Nigeria

Abstract

The increasing concentration of greenhouse gases (GHGs), particularly carbon dioxide (CO_2), in the atmosphere is a major driver of climate change, necessitating the development of efficient and sustainable carbon capture materials. Graphene has attracted considerable attention for gas capture applications owing to its exceptionally high theoretical specific surface area (2630 $m^2\ g^{-1}$), excellent mechanical strength, and structural stability. However, its relatively inert basal plane and weak interaction with CO_2 limit its adsorption performance. This study investigates the potential of platinum (Pt) doping to enhance the surface reactivity and CO_2 adsorption capability of graphene, with particular emphasis on the influence of dopant position. Computational investigations were performed using the Spartan software package, employing the Parameterized Method 3 (PM3) semi-empirical approach for preliminary screening and Density Functional Theory (DFT) calculations at the B3LYP/6-31G* level under vacuum conditions. The results reveal that pristine graphene exhibits negligible interaction with CO_2, with a calculated adsorption energy of −0.007 eV using the PM3 method. In contrast, Pt incorporation significantly enhances CO_2–surface interactions, particularly at graphene edge sites, where the adsorption energy reaches −3.549 eV. The DFT calculations provide further insights into the adsorption behaviour of the modified graphene systems, reporting adsorption energies of 3.312 eV for pristine graphene and 0.297 eV for edge-doped Pt–graphene. These findings highlight the importance of dopant positioning in tailoring graphene's gas adsorption properties and demonstrate that Pt functionalization, particularly at edge sites, offers a promising computational design strategy for developing advanced graphene-based materials for CO_2 capture. This study provides theoretical insights into metal–graphene interactions and establishes a foundation for the rational design of graphene-supported metal-doped materials for enhanced CO_2 adsorption.

Keywords: Graphene; Platinum doping; Carbon dioxide capture; Adsorption energy; Density Functional Theory; PM3.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE ECONOMIC VALUE OF AI-DRIVEN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: EXAMINING HUMAN CAPITAL PRODUCTIVITY, EMPLOYEE EARNINGS AND ORGANISATIONAL PERFORMANCE IN THE INDIAN IT SECTOR

Dr.M.K.Ganeshan
AMET University, AMET Business School, Chennai, Tamil Nadu, India
ORCID: 0000-0003-2407-1527

Abstract
Artificial Intelligence (AI) is bringing significant changes to human resource management in the Indian IT sector. Organisations are increasingly using AI in recruitment, employee training, performance evaluation, and workforce planning to improve efficiency and reduce costs. This study aims to examine the economic value of AI-driven HRM practices by focusing on human capital productivity, employee earnings, and organisational performance. It explores how AI-based HR practices help employees improve their skills, complete tasks efficiently, and contribute to organisational growth. The research also examines whether AI adoption creates better earning opportunities and improves employees' career development. At the same time, it considers challenges such as job insecurity, skill gaps, and the changing nature of employment. The research focuses on IT professionals working in Chennai and other parts of Tamil Nadu. Primary data can be collected from IT employees through a structured questionnaire to understand their experiences and opinions about AI adoption in HR practices. The study is expected to provide insights into the relationship between AI technology, employee productivity, and organisational economic performance. It may also help HR managers develop effective strategies that balance technological development, employee welfare, and organisational profitability. The findings support global HR professionals and policymakers in developing effective AI-based HR strategies that promote employee welfare, job opportunities, economic growth, and sustainable organisational development
Keywords: Artificial Intelligence, human resource management, human capital, economic value, organisational performance.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MANAGING SCHOOL–COMMUNITY PARTNERSHIPS IN UPPER SECONDARY EDUCATION: A QUALITATIVE MULTIPLE-CASE STUDY IN SOUTHERN VIETNAM

Vo Thi Cu
Dinh Thi Kim Tuoi
Nguyen Thi My Xuan
Bao Thi Pha
School of Education, Can Tho University, Vietnam
Thai Cong Dan
School of Foreign Languages, Can Tho University, Vietnam
ORCID: 0009-0002-9566-8128

Abstract
School–community partnerships are important to the implementation of competency-based education, career orientation, and students' broader social development. However, the ways in which such partnerships are planned and managed in Vietnamese upper secondary schools warrant closer examination. This qualitative multiple-case study explores school–community partnership management in four upper secondary school contexts in Can Tho City, Hau Giang, Dong Thap, and Tien Giang, Vietnam. The study draws on four reflective professional reports prepared by postgraduate students in Educational Management. The reports were examined through thematic analysis, with attention to planning, stakeholder collaboration, resource mobilization, communication, and evaluation. Five interconnected themes were identified: strategic planning and goal setting; stakeholder collaboration and partnership development; resource mobilization and allocation; digital communication; and monitoring and evaluation. The accounts describe practices such as career-orientation activities, collaboration with universities and local organizations, legal education activities, scholarship support, and communication through digital channels. They also point to limitations in systematic planning, the stability of resources, and the use of explicit evaluation indicators. The findings suggest that partnership management should be treated as an ongoing institutional process rather than a collection of separate activities. The paper offers context-sensitive considerations for school leaders, while recognizing that the small, report-based dataset supports exploratory insights rather than generalizable conclusions.
Keywords: school–community partnerships; educational management; upper secondary education; qualitative multiple-case study; Vietnam

1. Introduction
1.1 Background and rationale
Schools operate within social environments that shape students' learning opportunities, values, aspirations, and transitions beyond compulsory education. At the upper secondary level, collaboration with families, universities, employers, public agencies, and community organizations can connect classroom learning with social experience and career pathways. In Vietnam, the 2018 General Education Curriculum places emphasis on students' competencies, qualities, experiential activities, and career orientation. The Education Law 2019 also recognizes the responsibilities of families, schools, and society in educational development. These policy directions make the management of school–community relationships an important concern for school leaders.
Partnerships do not develop automatically. They require clear purposes, appropriate partners, communication, coordination of responsibilities, resources, and ways of reviewing outcomes. A school may organize individual community activities yet lack a coherent process for connecting those activities to institutional goals. Similarly, collaboration may depend on personal relationships or short-term support rather than established procedures. Examining how school–community activities are described and managed can therefore help identify both existing practices and areas requiring further development.
This study focuses on four upper secondary school contexts in southern Vietnam. Rather than evaluating schools or measuring student outcomes, it examines reflective accounts prepared by postgraduate

students in Educational Management. The study is exploratory and seeks to identify patterns in the management of school–community partnerships as represented in those accounts.

1.2 Research aim and questions

The overall aim was to explore how school–community partnerships were planned and managed in four upper secondary school contexts and to identify areas for improvement. The study addressed three questions:

1. How were school–community partnership activities planned and implemented in the four upper secondary school contexts?
2. What strengths and limitations were described in relation to planning, collaboration, resources, communication, and evaluation?
3. What management considerations may support more coherent and sustainable school–community partnerships?

1.3 Significance and scope

The paper contributes an exploratory, practice-oriented account of partnership management in upper secondary education. Its practical value lies in organizing reported practices and challenges into themes that school leaders can consider when reviewing their own partnership arrangements. The scope is deliberately limited: the evidence consists of four reflective reports, not direct observations, interviews with multiple stakeholder groups, school records, or outcome measures. Accordingly, conclusions refer to the accounts analyzed and should not be interpreted as representative of all upper secondary schools in Vietnam.

2. Literature Review

2.1 School, family, and community partnerships

School–family–community partnership scholarship emphasizes that student development is supported when schools establish purposeful relationships with families and community actors. Epstein's framework describes multiple forms of involvement, including parenting, communication, volunteering, learning at home, decision-making, and collaboration with the community (Epstein, 2001). The framework is useful because it moves beyond one-way information sharing and draws attention to the range of relationships through which stakeholders can contribute to education.

A partnership perspective also requires attention to stakeholders' different interests and resources. Freeman's (1984) stakeholder approach argues that organizations need to understand and engage groups that affect or are affected by organizational objectives. Applied to schools, this suggests that families, local authorities, universities, businesses, and community organizations should not be treated as interchangeable sources of support. Their contributions, expectations, and capacities differ. Effective management therefore involves identifying relevant stakeholders, clarifying mutual expectations, and maintaining relationships over time.

2.2 Educational management and strategic coordination

Educational management involves coordinating people, processes, and resources in pursuit of educational purposes. Strategic planning can help institutions connect long-term aims with activities, responsibilities, and review mechanisms. Fullan (2020) highlights the importance of leadership and organizational change in building coherent improvement processes. For school–community partnerships, strategic coordination means that activities should be linked to school priorities, student needs, and available community resources rather than being organized only as isolated events.

The quality of a partnership cannot be judged solely by the number of participating organizations or activities. It is also necessary to consider whether responsibilities are clear, whether communication is timely, whether resources are used appropriately, and whether the activities contribute to stated educational purposes. This points to the importance of monitoring and evaluation as part of partnership management.

2.3 Policy and the Vietnamese context

Vietnam's Education Law No. 43/2019/QH14 provides a broad legal basis for educational participation and cooperation. The 2018 General Education Curriculum also emphasizes competency development,

experiential learning, and career orientation (MOET, 2018). These directions create opportunities for schools to work with universities, employers, public agencies, and community organizations. At the same time, local conditions—including geography, community resources, school capacity, and stakeholder availability—may influence how partnerships are organized.

The policy context establishes the relevance of school–community collaboration, but it does not by itself explain how individual schools coordinate partnerships in everyday practice. The present study addresses this practice-oriented question through a small comparative analysis of reflective accounts.

2.4 Analytical focus

Drawing on the literature above, the study examines five related dimensions: (1) strategic planning and goal setting; (2) stakeholder collaboration; (3) resource mobilization and allocation; (4) communication, including digital communication; and (5) monitoring and evaluation. These dimensions served as sensitizing concepts rather than a rigid coding scheme. The analysis remained open to patterns emerging from the reports.

3. Methodology

3.1 Research design

The study adopted an exploratory qualitative multiple-case design based on *reflective professional practice*. A qualitative approach was appropriate because the purpose was to interpret descriptions of management practices and challenges rather than to measure their prevalence or test causal relationships. The cases represent four upper secondary school contexts described in postgraduate reflective reports.

3.2 Context and participants

The dataset comprised four reflective professional reports written by postgraduate students enrolled in the Master's program *in Educational Managemen*t at Can Tho University. Each report concerned an upper secondary school context: P001 in Can Tho City, P002 in Hau Giang Province, P003 in Dong Thap Province, and P004 in Tien Giang Province. The participants were postgraduate students; the reports, rather than the students themselves as representatives of their institutions, constituted the materials analyzed. The institutional descriptions are presented using participant codes to protect identities.

3.3 Data source and collection

The data consisted of four reflective reports prepared as part of the participants' postgraduate study requirements. The reports addressed professional experiences and observations related to community education management. The present analysis used the reports as documentary data. The available study materials do not establish that the researchers independently interviewed school leaders, teachers, parents, students, or community partners, or that they conducted direct observations or verified the accounts against institutional records. Findings are therefore framed as reported practices and perceptions.

3.4 Data analysis

The reports were analyzed thematically, drawing on the six-phase approach described by Braun and Clarke (2006): familiarization with the data; generation of initial codes; searching for themes; reviewing themes; defining and naming themes; and producing the account. Initial attention was given to planning, stakeholder relationships, resources, communication, and evaluation. Codes were compared across the four reports, and related codes were grouped into broader themes. The analysis sought both recurring patterns and context-specific examples.

3.5 Trustworthiness and ethical considerations

The study aimed to support credibility through systematic comparison of the four reports and the use of participant codes. An audit trail of coding decisions and clear descriptions of the data source are important for dependability and confirmability. Transferability is addressed through contextual description rather than statistical generalization. The source manuscript states that ethical principles were followed; however, it does not provide details about a formal ethics approval number, consent procedures, or data-access arrangements. These details should be added only if documentation is available. Before submission, the authors should confirm that the postgraduate reports may be used for research and publication and that quotations do not reveal identifiable information.

3.6 Research limitations inherent in the design

The small dataset limits the range of perspectives represented. Reflective reports may emphasize selected experiences and may not capture disagreements among stakeholders. The study also lacks independent triangulation through interviews, observations, or school documents. These limitations do not invalidate the exploratory analysis, but they define the level of claim that can reasonably be made.

4. Findings

4.1 Overview

The thematic analysis identified five themes across the four reports: strategic planning and goal setting; stakeholder collaboration and partnership development; resource mobilization and allocation; digital communication; and monitoring and evaluation. The themes are interconnected. Planning provides direction, stakeholder relationships make activities possible, resources support implementation, communication coordinates participation, and evaluation provides information for subsequent planning.

4.2 Strategic planning and goal setting

The reports described school plans that connected community-related activities with student development goals, including career orientation, life skills, and civic responsibility. P001 referred to coordination with families and the community to implement these goals. P002 described an emphasis on students' knowledge, skills, and social responsibility. These accounts suggest that community-related work was understood as contributing to broader educational purposes rather than being limited to fundraising or ceremonial events.

At the same time, the reports point to a need for more systematic planning. A plan is more actionable when it specifies intended outcomes, target groups, partner roles, timelines, resources, and review arrangements. The reports do not provide enough evidence to determine whether all four schools had comparable formal planning systems. The finding should therefore be understood as a pattern in the reflective accounts, not as a verified institutional assessment.

4.3 Stakeholder collaboration and partnership development

Collaboration was described with universities, businesses, local organizations, and public agencies. P001 reported cooperation with universities, businesses, and local organizations to provide career-orientation and experiential activities. P003 described legal education activities organized in coordination with the People's Procuracy and local police, including mock-trial activities related to traffic safety. These examples illustrate how external partners may contribute expertise, authentic learning experiences, and access to community settings.

The accounts also imply that partnership quality depends on more than the presence of external organizations. Coordination requires shared objectives, clear roles, appropriate scheduling, and communication before and after activities. The reports provide examples of collaboration but limited detail about formal agreements, partner evaluation, or the continuity of relationships.

4.4 Resource mobilization and allocation

The reports identified alumni, businesses, social organizations, and local authorities as potential sources of support. P002 described mobilizing resources from alumni, businesses, and social organizations for scholarships and educational activities. P001 referred to maintaining relationships with local authorities and organizations to mobilize resources for community education.

These accounts show that resource mobilization can support access to activities and assistance for students. However, the reports also indicate the importance of moving beyond ad hoc contributions. Sustainable arrangements require transparent procedures, alignment between resources and educational priorities, and attention to the appropriate use of contributions. The dataset does not provide financial records or amounts, so the scale and distribution of resources cannot be assessed.

4.5 Digital communication

Digital channels were reported as tools for communicating with parents and students. P001 mentioned websites, Zalo, and email, while P003 referred to information technology, online learning platforms, and digital communication channels. These tools can make announcements and coordination more timely and accessible.

Nevertheless, the use of digital channels should not be equated automatically with effective digital

transformation. Their contribution depends on whether information is accurate, accessible, two-way, and appropriately managed. The reports do not provide evidence about platform usage rates, digital inclusion, data protection practices, or the effectiveness of communication. These issues warrant further investigation.

4.6 Monitoring and evaluation

P004 reported that community education activities were reviewed through reports and stakeholder feedback, but that specific quantitative indicators were lacking. P001 similarly identified a need for clearer criteria and indicators. This was the most explicit cross-cutting management gap in the reports.

Evaluation can help schools distinguish between activity completion and educational value. Possible indicators may relate to participation, stakeholder satisfaction, continuity of partnerships, access for disadvantaged students, and evidence that activities address stated learning or development objectives. Such indicators should be selected locally and used alongside qualitative feedback. The present dataset does not establish which indicators are currently used across all four cases.

4.7 Cross-case synthesis

Across the four accounts, partnership management was represented as a combination of planning, collaboration, resource mobilization, communication, and evaluation. Similar management concerns appeared across the cases, while the examples of external partners and activities reflected local circumstances. Because the dataset is small and based on reflective reports, it is not possible to rank the cases or attribute differences to particular provincial or institutional factors. The comparative value lies in identifying recurring dimensions and questions for school-level review.

5. Discussion

5.1 From individual activities to managed partnerships

The findings reinforce the view that school–community collaboration should be managed as a connected process. Epstein's (2001) partnership framework helps interpret the range of reported interactions, from communication with families to collaboration with community organizations. The examples of career orientation and legal education also show that partnerships can extend learning beyond the classroom. However, the accounts suggest that the existence of activities does not necessarily mean that a school has a systematic partnership strategy.

A strategic approach would connect activities to school priorities and student needs, identify appropriate partners, clarify responsibilities, allocate resources, and review outcomes. This process-oriented interpretation is consistent with stakeholder thinking (Freeman, 1984): relationships need to be understood in terms of the interests and contributions of different groups. It also aligns with the broader emphasis on coherent educational change and leadership (Fullan, 2020).

5.2 The importance of continuity and accountability

Resource mobilization and partnership development are closely related. External contributions may enable scholarships, experiential learning, and community activities, but reliance on informal contacts can make activities vulnerable to changes in personnel or funding. Schools may therefore benefit from maintaining partner records, documenting agreed roles, and reviewing partnerships periodically. Transparency is particularly important when external resources are involved.

The reported weakness in evaluation indicators is also significant. Without clear criteria, schools may count events or participants without assessing whether activities achieved their intended purposes. A balanced evaluation approach could combine quantitative information, such as participation and frequency, with qualitative evidence, such as stakeholder feedback and examples of student learning. Indicators should remain proportionate to the scale of the activity and should not create unnecessary administrative burdens.

5.3 Digital communication as an enabling condition

The reported use of Zalo, email, websites, and online platforms indicates that digital communication is already part of the partnership environment described by participants. Digital channels can facilitate coordination, but effective communication also requires inclusive access, consistent information, feedback mechanisms, and responsible handling of personal data. Schools should consider whether different stakeholder groups can use the selected channels and whether important information is

available through alternative means.

5.4 Implications for educational management

For school leaders, the findings suggest five practical priorities. *First*, establish a partnership plan linked to the school's educational objectives. *Second*, map stakeholders and clarify the purpose and expected contribution of each relationship. *Third*, develop transparent and sustainable approaches to resource mobilization. *Fourth*, use accessible two-way communication channels. *Fifth*, establish a manageable set of indicators and review findings when planning subsequent activities.

At the system level, education authorities and professional development providers could support school leaders through guidance on partnership planning, stakeholder communication, safeguarding, resource accountability, and evaluation. These recommendations are implications drawn from the themes, not interventions tested by the study.

5.5 Limitations and future research

The study is limited by its reliance on four reflective reports and the absence of direct data from other stakeholder groups. The findings cannot establish the effectiveness of particular activities or be generalized to all upper secondary schools. Future research could examine a larger and more varied set of schools, include interviews with school leaders, teachers, parents, students, and community partners, and analyze partnership plans and evaluation records. Longitudinal research could also explore whether formal partnership arrangements improve continuity and educational outcomes.

6. Conclusion

This study explored school–community partnership management in four upper secondary school contexts in southern Vietnam through thematic analysis of four postgraduate reflective reports. Five themes were identified: strategic planning and goal setting; stakeholder collaboration; resource mobilization; digital communication; and monitoring and evaluation. The accounts described collaboration with universities, businesses, public agencies, families, and local organizations, as well as activities related to career orientation, legal education, scholarships, and student development.

The central implication is that school–community partnerships require more than the organization of occasional activities. They benefit from clear objectives, defined responsibilities, sustainable resources, inclusive communication, and proportionate evaluation. The study offers exploratory insights for educational managers while acknowledging the limitations of a small, report-based dataset. Further research using multiple sources and stakeholder perspectives is needed to examine how partnership management operates and what outcomes it produces in different school contexts.

Acknowledgements

The authors thank the teaching staff of School of Education and School of Foreign Languages, Can Tho University, for their academic support. They also acknowledge the postgraduate participants whose reflective reports formed the documentary basis of this study. The authors are responsible for the interpretation presented and for any remaining errors.

References

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Epstein, J. L. (2001). School, family, and community partnerships: Preparing educators and improving schools. Westview Press.

Freeman, R. E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Pitman.

Fullan, M. (2020). Leading in a culture of change (2nd ed.). Jossey-Bass.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. SAGE.

Ministry of Education and Training [MOET]. (2018). General education curriculum. Vietnam.

National Assembly of Vietnam. (2019). Education Law No. 43/2019/QH14.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

STRATEGIC MANAGEMENT OF COMMUNITY ENGAGEMENT IN DIVERSE EDUCATIONAL INSTITUTIONS: A QUALITATIVE CROSS-CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM

Vo Thi Tu Lan
Hoang Minh Tho
Nguyen Thi My Han
Nguyen Khanh Linh
Ho Huu Phuc Anh
Huynh Ngoc Huong
School of Education, Can Tho University, Vietnam
Thai Cong Dan
School of Foreign Languages, Can Tho University, Vietnam
ORCID: 0009-0002-9566-8128

Abstract
Community engagement is increasingly relevant to educational institutions that seek to connect learning with local needs while maintaining institutional sustainability. This qualitative cross-case study explores how community engagement was described and managed in six educational institution contexts in Can Tho City and Vinh Long Province, Vietnam: a private university, a vocational training academy, a language center, an arts academy, a private K–12 school, and a vocational college. The dataset consisted of six reflective professional reports prepared by postgraduate students in Educational Management. The reports were analyzed thematically, focusing on institutional commitment, stakeholder collaboration, resource sustainability, digital innovation, and the relationship between financial priorities and social responsibility. Five themes were identified: strategic planning and institutional commitment; stakeholder collaboration and partnership development; resource mobilization and sustainability; digital communication and innovation; and balancing financial viability with social responsibility. The accounts describe community service, volunteer activities, career-related partnerships, educational support, digital communication, and initiatives intended to widen access to learning. They also identify challenges involving stable funding, systematic evaluation, and the allocation of resources to activities that may not generate direct revenue. The study argues that community engagement should be integrated into institutional strategy and evaluated in relation to both educational and social purposes. Given the report-based dataset, the findings are exploratory and do not establish the performance of the institutions as a whole.
Keywords: community engagement; educational institutions; institutional management; social responsibility; Mekong Delta

1. Introduction

1.1 Background and rationale

Educational institutions increasingly interact with communities, employers, public agencies, professional groups, and civil-society organizations. These relationships may support student learning, workforce preparation, access to educational opportunities, community development, and institutional legitimacy. The forms and purposes of engagement, however, differ across institutional types. A private university may organize community service or technology-transfer activities; a vocational provider may work with employers and professional establishments; a language center may support learning communities; and an arts academy may seek to widen access to cultural education.

Such activities require management. Institutions must determine which community needs align with their missions, identify partners, assign responsibilities, mobilize resources, communicate with stakeholders, and assess outcomes. For private and fee-dependent providers, these tasks may be complicated by the need to maintain financial viability while supporting activities with social value but limited direct revenue. The challenge is not simply whether institutions engage with communities, but how they organize engagement in ways that are coherent, accountable, and sustainable.

This study examines six educational institution contexts in Can Tho City and Vinh Long Province through reflective reports prepared by postgraduate students in Educational Management. It focuses on management approaches and challenges represented in those reports. It does not attempt to rank institutions or measure their overall social impact.

1.2 Aim and research questions

The study aimed to explore how community engagement was planned and managed across six educational institution contexts and to identify common and context-specific management challenges. It addressed the following questions:

1. How was community engagement described and organized across the six educational institution contexts?
2. What strengths and limitations were reported in institutional commitment, partnerships, resources, digital communication, and social responsibility?
3. What management considerations may support sustainable and mission-aligned community engagement?

1.3 Significance and scope

The study offers an exploratory comparison across institution types that are often considered separately. Its contribution is to identify shared management dimensions while recognizing that the purposes and resource conditions of institutions differ. The evidence is limited to six reflective reports. It does not include institutional financial statements, independent audits, direct interviews with all stakeholder groups, or measured community outcomes. The paper therefore presents reported practices and perceptions, not verified institutional performance.

2. Literature Review

2.1 Community engagement as an institutional responsibility

Community engagement can be understood as a set of purposeful relationships through which educational institutions respond to, collaborate with, and contribute to their surrounding communities. Such engagement may include public service, outreach, continuing education, cultural activities, applied research, technology transfer, volunteering, and partnerships with employers. The appropriate forms depend on an institution's mission, learners, resources, and local environment.

A stakeholder perspective is useful for understanding these relationships. Freeman (1984) emphasizes that organizations need to consider groups that affect or are affected by their objectives. In educational settings, stakeholders may include students, families, employees, employers, government agencies, community organizations, and local residents. Their expectations may overlap, but they are not identical. Institutional management must therefore identify whose needs are being addressed and how different interests are balanced.

2.2 Institutional strategy, organizational change, and sustainability

Community engagement is more likely to be coherent when it is connected to institutional strategy rather than treated as a series of unrelated events. Strategic alignment requires institutions to define the purposes of engagement, determine which activities fit their educational mission, and assign responsibility for implementation. Fullan (2020) highlights the importance of leadership and organizational coherence in change processes. This perspective is relevant when engagement requires coordination across departments or sustained collaboration with external partners.

Sustainability has several dimensions. Financial sustainability concerns the availability and continuity of resources. Organizational sustainability concerns staff capacity, leadership support, and established procedures. Social sustainability concerns whether activities respond to meaningful needs and maintain trust with communities. These dimensions may reinforce one another, but they can also create tensions, particularly where institutions depend on tuition or service revenue.

2.3 Community education and sustainable development

Community education is associated with expanding learning opportunities and enabling participation in social and community life. UNESCO's work on the futures of education emphasizes cooperation, solidarity, and collective responsibility (UNESCO, 2021). Tilbury and Wortman (2008) discuss the

contribution of community education to sustainability in practice. These perspectives suggest that community engagement should be assessed not only by the number of activities conducted but also by their relevance, accessibility, continuity, and contribution to learning and community priorities.

In Vietnam, the Education Law 2019 provides a broad framework for social participation in education. The Law on Higher Education, as amended in 2018, is relevant to the responsibilities and development of higher education institutions. These legal frameworks form part of the context in which institutions interpret their roles, although the present study does not conduct a legal analysis of institutional compliance.

2.4 Digital innovation in community engagement

Digital technologies can support communication, online learning, outreach, and coordination with stakeholders. Their value depends on how they are integrated into institutional processes. A digital platform alone does not establish meaningful engagement; institutions also need appropriate content, accessible channels, staff capacity, feedback procedures, and attention to privacy and data management. The reports analyzed in this study refer to digital communication and online learning, but do not provide usage metrics or systematic evidence of impact.

2.5 Analytical framework

The analysis used five sensitizing dimensions: (1) strategic planning and institutional commitment; (2) stakeholder collaboration and partnership development; (3) resource mobilization and sustainability; (4) digital communication and innovation; and (5) balancing financial viability with social responsibility. These dimensions guided attention to the reports while allowing themes to be developed from the data.

3. Methodology

3.1 Research design

This study employed an exploratory qualitative cross-case design based on *reflective professional practice*. It compared six institution-related accounts to identify recurring management concerns and differences in the examples reported. The design was selected to provide an interpretive overview rather than statistical comparisons or causal explanations.

3.2 Context and cases

The dataset covered six educational institution contexts in Can Tho City and Vinh Long Province: P001, a private university in Can Tho City; P002, a vocational training academy in Vinh Long Province; P003, a language center in Can Tho City; P004, an arts academy in Can Tho City; P005, a private K–12 school in Can Tho City; and P006, a vocational college in Can Tho City. These codes are used throughout the paper. The institution types and locations are those reported in the source materials.

3.3 Participants and data source

The reports were written by six postgraduate students in *Educational Management* at Can Tho University. The six reflective professional reports constituted the documentary dataset. They were prepared in connection with the participants' Master's program requirements and contained descriptions of community education management in their respective institutional contexts. The participants were not treated as a statistically representative sample of educational managers. The analysis concerns the content of their reports.

3.4 Data analysis

The reports were analyzed using thematic analysis informed by Braun and Clarke's (2006) six-phase process: familiarization, initial coding, theme development, theme review, theme definition and naming, and reporting. Coding attended to institutional goals, external relationships, resource sources, digital practices, and tensions between revenue considerations and social purposes. Codes were compared across the six reports to identify common patterns and institution-specific examples. The five themes reported below reflect this comparative process.

3.5 Trustworthiness and ethics

The use of a consistent analytical process and participant codes supports transparency. Cross-case comparison enabled the researchers to examine whether similar management issues appeared in different institutional settings. However, the study did not include independent verification through institutional

documents, interviews with external partners, or direct observation. The source materials state that ethical principles were followed but do not specify an approval reference or detailed consent procedures. The authors should insert the relevant ethics and consent information if available and confirm permission to use the postgraduate reports and quotations for publication.

3.6 Limitations of the evidence

The dataset is small and report-based. Reflective accounts may emphasize particular experiences, and the reports may differ in detail. The study cannot establish the financial performance, quality, or social impact of the six institutions. It also cannot determine whether the reported practices are typical of their institution types. Findings are therefore presented as exploratory patterns in the available accounts.

4. Findings

4.1 Overview

Five themes were identified: strategic planning and institutional commitment; stakeholder collaboration and partnership development; resource mobilization and sustainability; digital communication and innovation; and balancing financial viability with social responsibility. The themes were interrelated. Institutional commitment provided direction, partnerships connected institutions with external actors, resources enabled activities, digital tools supported coordination, and financial-social considerations shaped decisions about continuity and access.

4.2 Strategic planning and institutional commitment

The reports described community engagement as part of institutional activity, although the forms differed. P001, representing a private university, referred to community service through volunteer programs, technology transfer, and cooperation with local authorities. P005, representing a private K–12 school, described integrating community education goals into the school's strategic plan, with attention to civic responsibility and student engagement.

These examples suggest different routes through which institutions may express commitment: through service and outreach activities or through the integration of community-related objectives into institutional planning. The reports do not provide complete strategic plans, so it is not possible to assess how formally or consistently these commitments were implemented. Nevertheless, they point to the importance of connecting engagement to institutional mission and educational objectives.

4.3 Stakeholder collaboration and partnership development

External collaboration appeared in several reports. P002, the vocational training academy, described mobilizing experienced individuals, professional establishments, and local forces to support community education activities. P003, the language center, reported coordination with clubs, teams, and student groups at Can Tho University to provide professional sponsorship and co-organize lecture activities for freshmen.

The examples show that community engagement can involve different partner types and forms of contribution. In vocational contexts, professional contacts may connect learning with occupational experience. In language education, student organizations and university groups may help organize learning-related events. Effective partnership management requires clarity about the purpose of collaboration, the roles of each party, and the expected benefits. The reports provide examples of coordination but limited information about formal agreements, partner feedback, or long-term continuity.

4.4 Resource mobilization and sustainability

Resource sustainability was a prominent concern. P003 reported the establishment of a Community Development Fund, described in the report as drawing on 3–5% of the school's development fund together with lawful socialization sources. P004, the arts academy, reported that the continuation of free arts education projects depended heavily on internal revenue and that sponsor support was not yet stable. These accounts illustrate contrasting resource arrangements: an internally designated fund in one case and reliance on institutional revenue with uncertain external sponsorship in another. They also highlight a central management question: how can institutions maintain community activities when their costs recur but external support may fluctuate? The dataset does not contain financial records or independently

verified information about the fund, so the reported percentage and arrangements should be understood as statements in the reflective report rather than audited financial facts.

4.5 Digital communication and innovation

P001 referred to modern facilities and information technology systems supporting online courses, community communication, and activity management. P005 described communication with parents through Zalo, electronic contact books, and the school website. These examples suggest that digital tools were used for both educational delivery and stakeholder communication.

The reports do not establish how frequently these tools were used, who accessed them, or whether they improved participation. Digital innovation should therefore be understood as a reported institutional practice rather than demonstrated effectiveness. Further assessment would need to consider access, staff capability, information quality, feedback, privacy, and the relationship between online and face-to-face engagement.

4.6 Balancing financial viability and social responsibility

P003 described pressure to optimize costs because community education activities require budgets, staff time, and other resources. The report highlighted the management need to balance revenue or profit considerations with expenditure on non-profit community service programs. P004 reported that some parents and residents viewed arts as a secondary subject or as an opportunity mainly for economically advantaged families, which could discourage participation in community arts programs.

These accounts reveal two related challenges. The first concerns internal allocation: institutions must decide how much capacity can be devoted to activities that may not generate direct income. The second concerns social access: community programs may not reach intended participants if cost, perceptions, or cultural expectations create barriers. A socially responsible approach therefore involves more than offering activities; it also requires considering who can participate and what institutional support is needed to sustain access.

4.7 Cross-case synthesis

Across the six reports, community engagement was described through a range of activities, including community service, volunteer programs, technology transfer, career-related collaboration, educational support, digital communication, and free arts education. The recurring management concerns were strategic commitment, partnership coordination, resources, communication, and the relationship between institutional sustainability and social purpose.

The cases differed in their institutional missions and reported activities. The private university account emphasized service, volunteering, and technology transfer; the vocational academy emphasized professional and local resource mobilization; the language center emphasized collaboration with student groups and a reported development fund; the arts academy highlighted the sustainability of free programs and community perceptions; and the private K–12 school described strategic integration and parent communication. The source material provides less detailed examples for the vocational college, P006, so the paper does not infer institution-specific practices for that case beyond its inclusion in the dataset.

5. Discussion

5.1 Community engagement needs institutional alignment

The findings suggest that community engagement takes different forms depending on institutional mission, but several management requirements recur. A private university, a vocational provider, a language center, an arts academy, a private school, and a vocational college do not necessarily pursue identical community objectives. A common framework should therefore provide shared management questions without imposing identical activities. Stakeholder theory (Freeman, 1984) supports this emphasis on identifying relevant groups and understanding their different interests. Strategic leadership perspectives also underline the need to connect initiatives with institutional priorities and organizational capacity (Fullan, 2020).

The reports show examples of engagement embedded in strategic planning and examples organized through particular projects or partnerships. A more integrated approach would clarify why an activity is

undertaken, whom it serves, which institutional objective it supports, and how its contribution will be reviewed.

5.2 Resource sustainability and the financial-social balance

The tension between financial viability and social responsibility is especially visible in the accounts of the language center and arts academy. Community programs may require staff time, facilities, materials, and ongoing coordination. Where institutions depend on tuition or service income, managers may face difficult choices about allocating resources to activities with indirect or long-term benefits.

The findings do not suggest that financial considerations should be ignored. Rather, they indicate the need for transparent decision-making about the scale, duration, and intended beneficiaries of community activities. Potential approaches include allocating a defined but realistic budget, developing partnerships that contribute expertise or resources, seeking lawful sponsorship, and periodically reviewing program costs and benefits. Institutions should also avoid relying on uncertain external contributions as the sole basis for continuing essential community activities.

5.3 Access, inclusion, and the meaning of social responsibility

The arts academy account draws attention to perceptions that arts education may be secondary or intended mainly for economically advantaged families. This points to an access issue: an activity may be described as community-oriented but still fail to reach some groups. Managers should consider barriers such as fees, transport, scheduling, information, and community perceptions. Consultation with intended participants can help institutions design activities that are relevant and accessible.

This interpretation is consistent with the broader view of community education as a means of widening learning opportunities and supporting participation. The study does not measure changes in access or social outcomes, but it identifies inclusion as an issue that deserves explicit attention in institutional planning.

5.4 Digital engagement as infrastructure, not an outcome

The reported use of online platforms, electronic contact books, websites, and other information technology indicates that digital channels form part of community engagement. However, technology should be treated as enabling infrastructure rather than evidence of successful engagement in itself. Institutions need to assess whether digital communication is two-way, accessible, timely, and useful to different stakeholder groups. They should also consider privacy and data governance when communicating about students and community members.

5.5 A management framework for mission-aligned community engagement

Drawing on the identified themes, the study proposes a four-stage management cycle for mission-aligned community engagement. The first stage, *strategic alignment,* involves defining the community purpose, identifying intended beneficiaries, and articulating the connection to the institutional mission. The second stage, *partnership and capacity development,* focuses on identifying stakeholders, clarifying roles, and determining the staff, facilities, expertise, and funding required. The third stage, *implementation and communication,* concerns delivering activities through suitable channels and maintaining accessible communication with participants and partners. The fourth stage, *review and sustainability,* examines participation, stakeholder feedback, resource use, continuity, and alignment with the stated purpose, with the findings then informing subsequent planning. This cycle is a conceptual synthesis derived from the themes rather than a validated intervention model; its value lies in serving as a practical checklist that can be adapted to different institution types.

5.6 Implications for institutional leaders and policymakers

Institutional leaders may benefit from assigning clear responsibility for community engagement and maintaining a record of partnerships, activities, resource commitments, and review findings. They can also establish criteria for deciding which activities align with institutional mission and which require additional resources or external support. For policymakers and sector bodies, the findings point to the

value of guidance on community partnership management, social responsibility, inclusive access, and proportionate evaluation. Support should recognize differences between institution types rather than assume that all providers have the same resources or obligations.

5.7 Limitations and future research

The study relies on six reflective reports and does not include independent evidence from institutions or community partners. It cannot verify financial arrangements, establish program effectiveness, or compare institutional performance. Future research should use multiple data sources, including strategic plans, budgets, partnership agreements, interviews, observations, and feedback from beneficiaries. Larger comparative studies could investigate how ownership, institutional mission, size, and funding models shape engagement. Longitudinal research could examine which arrangements support continuity and measurable community benefit.

6. Conclusion

This study explored the management of community engagement across six educational institution contexts in Can Tho City and Vinh Long Province, Vietnam, using thematic analysis of six postgraduate reflective reports. Five themes were identified: strategic planning and institutional commitment; stakeholder collaboration; resource mobilization and sustainability; digital communication and innovation; and balancing financial viability with social responsibility.

The findings indicate that community engagement is expressed differently across institutional settings, but it raises recurring management questions about mission alignment, partner coordination, resources, communication, access, and evaluation. Institutions may strengthen engagement by integrating it into strategic planning, clarifying stakeholder roles, making resource commitments transparent, using inclusive communication, and reviewing both educational and social purposes. The proposed four-stage cycle—strategic alignment, partnership and capacity development, implementation and communication, and review and sustainability—offers a practical synthesis for institutional reflection.

Because the evidence is limited to reflective reports, the study does not establish the overall performance or social impact of the six institutions. Its contribution is exploratory: it identifies management dimensions and tensions that warrant further investigation through broader, multi-source research.

Acknowledgements

This study benefited from the academic guidance of colleagues in School of Education and School of Foreign Languages, Can Tho University, Vietnam, whose support is sincerely appreciated. The authors are also indebted to the postgraduate students who took part in the study and whose reflective reports formed the documentary basis of the analysis. The interpretations and conclusions drawn from these materials, as well as any remaining shortcomings, remain those of the authors.

References

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Epstein, J. L. (2001). School, family, and community partnerships: Preparing educators and improving schools. Westview Press.

Freeman, R. E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Pitman.

Fullan, M. (2020). Leading in a culture of change (2nd ed.). Jossey-Bass.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. SAGE.

National Assembly of Vietnam. (2018). Law on Higher Education No. 34/2018/QH14.

National Assembly of Vietnam. (2019). Education Law No. 43/2019/QH14.

Tilbury, D., & Wortman, D. (2008). How is community education contributing to sustainability in practice? Applied Environmental Education and Communication, 7(3), 83–93.

UNESCO. (2021). Reimagining our futures together: A new social contract for education. UNESCO.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DYNAMICS OF QUANTUM COHERENCE AND ENTANGLEMENT IN TWO COUPLED SUPERCONDUCTING QUBITS UNDER DECOHERENCE

Mourad Benzahra
Mostafa Mansour
Laboratory of Mechanics and High Energy Physics, Faculty of Sciences Aïn Chock, University Hassan II, P.O. Box 5366 Maarif Casablanca 20100, Morocco

Superconducting qubits are among the leading physical platforms for the implementation of quantum computing and quantum information processing, owing to their scalability and compatibility with well-established fabrication techniques. In this work, we explore the dynamics of quantum coherence and entanglement in a system of two superconducting qubits, characterized by their charging energies, Josephson energies, and the coupling between them, under the influence of decoherence. We characterize the coherence and entanglement of the two-qubit system using appropriate quantum measures. The behavior of the coherence and entanglement measures in terms of the system parameters and the decoherence rate is investigated and analyzed in detail. Our results show that the robustness of quantum coherence and entanglement can be modulated by adjusting the decoherence rate and system parameters.

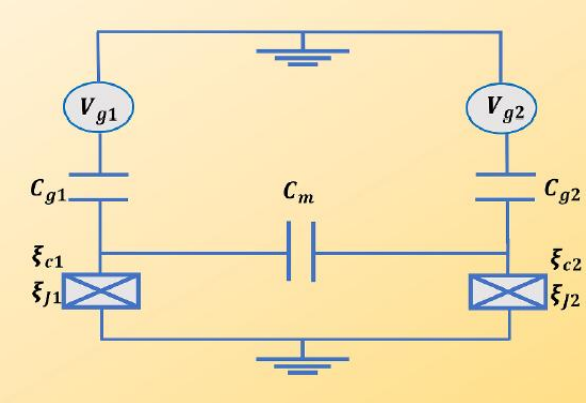


Figure 1- Circuit diagram of two capacitively coupled superconducting charge qubits. The two qubits are coupled via a mutual capacitance, which mediates the inter-qubit interaction.

Keywords: Superconducting qubits; quantum coherence; quantum entanglement; decoherence.

EFFECTS OF VARYING INCLUSION LEVELS OF DATARIUM SENEGALESE AND ZIZIPHUS SPIA CHRISTI ON SELECTED BIOCHEMICAL METABOLITES OF CLARIAS GARIEPINUS

Aisha Salihu
Dr. Daniel Naallah
Salisu Habeebah Shuaibu
Hussain Usman Bida
Ahmadu Bello University Zaria, Kaduna

Abstract
This study evaluated the effects of varying inclusion levels of Detarium senegalense (Taura) and Ziziphus spina-christi (Kurna) fruit pulp on selected biochemical metabolites of Clarias gariepinus. The study was conducted to assess the potential of these locally available fruit pulps as alternative feed ingredients in aquaculture. Ninety juvenile African catfish were used in a 56-day feeding trial involving a control diet and diets containing 2.5% and 5.0% inclusion levels of each fruit pulp. At the end of the experiment, blood samples were collected and analysed for total cholesterol, high-density lipoprotein (HDL), low-density lipoprotein (LDL), and triglycerides ASP, and ALT using commercial diagnostic kits and colorimetric methods. Data were analysed using one-way analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's honestly significant difference test at $p < 0.05$. The results showed that total cholesterol and HDL differed significantly among treatments ($p < 0.05$), with the highest values recorded in fish fed 5% D. senegalense fruit pulp. However, LDL and triglycerides showed no significant differences ($p > 0.05$). The study concluded that the biochemical effects of the fruit pulps depended on the plant species and inclusion level, and further investigations are recommended to establish suitable dietary inclusion levels for African catfish.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ANALYSIS AND COMPARISON OF FEM DtN AND FEM–PML FOR HELMHOLTZ SCATTERING BY INHOMOGENEOUS MEDIA

MSc. Redjola MANAJ
University of Tirana, Faculty of Natural Sciences, Department of Mathematics, 1001, Tirana, Albania
ORCID ID: 0000-0001-5455-3522
Assoc. Prof. Besiana ÇOBANI
University of Tirana, Faculty of Natural Sciences, Department of Mathematics, 1001, Tirana, Albania
ORCID ID: 0000-0002-5114-9679

ABSTRACT
We analyse and compare two finite element methods for the Helmholtz equation modelling the scattering of a plane wave by a penetrable inhomogeneous medium. They differ only in the truncation of the unbounded exterior domain: FEM–DtN imposes the Dirichlet-to-Neumann map on a circle, truncated after $2N + 1$ Fourier modes, while FEM–PML uses a radial perfectly matched layer. Both are formulated as conforming Galerkin methods for a common scattered-field problem. On the analytical side, we compute the exact symbol of the PML on a circle and show that, provided the PML-induced DtN perturbation is sufficiently small, the PML problem inherits well-posedness from the original problem, with an error bound proportional to this perturbation; the perturbation decays exponentially with the absorption and thickness of the layer, up to factors depending on the wavenumber and the geometry. For a disk with constant refractive index we derive closed-form solutions of both truncated problems, which separate the truncation error from the discretization error. The numerical comparison uses identical meshes and solvers, with the DtN term treated as a low-rank update. Both methods converge at the expected finite element rates, the PML provided its layer is resolved by the mesh and its truncation error is below the discretization error; otherwise the PML error stalls. In the tested configurations, the DtN method requires few modes, is insensitive to their number beyond a small threshold and yields markedly more accurate far fields. The PML reaches comparable accuracy only when its absorption is tuned to the mesh and the layer is resolved, and in our setting it requires about 1.7 times as many unknowns. The cost for a given accuracy is similar.

A kite-shaped scatterer with variable refractive index confirms these findings.
Keywords: *Helmholtz equation; transmission problem; finite element method; Dirichlet-to-Neumann map; truncation of unbounded domains; far-field pattern*

1. INTRODUCTION
We consider the scattering of a time-harmonic plane wave by a penetrable inhomogeneous medium $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ with refractive index $n(x)$, modelled by the Helmholtz equation with transmission conditions on $\Gamma = \partial\Omega$ and the Sommerfeld radiation condition (Section 2.1) (Cakoni et al., 2022; Colton & Kress, 2019); it is the forward problem behind many inverse scattering methods.
Finite element methods handle a variable, possibly discontinuous refractive index naturally, but require the unbounded exterior domain to be truncated. In ***FEM–DtN*** *the exact Dirichlet-to-Neumann (DtN) condition $\partial_r u^s = Tu^s$ is imposed on a circle S_R enclosing Ω, with T truncated after $2N + 1$ Fourier modes (Grote & Keller, 1995; Harari & Hughes, 1992; Keller*

*& Givoli, 1989). In **FEM–PML** the disk B_R is surrounded by a perfectly matched layer, a complex stretching of the radial coordinate (Bérenger, 1994; Collino & Monk, 1998b). The truncated DtN map is analysed in (Hsiao et al., 2011; Koyama, 2007; Melenk & Sauter, 2010; Xu & Yin, 2021), the PML in (Bramble & Pasciak, 2007; Chen & Liu, 2005; Galkowski, Lafontaine, & Spence, 2023; Lassas & Somersalo, 1998), and wavenumber-explicit finite element bounds are given in (Bernkopf et al., 2025; Chaumont-Frelet et al., 2022; Galkowski, Lafontaine, Spence, & Wunsch, 2023; Li & Wu, 2025; Melenk & Sauter, 2010). Most of these works treat one truncation at a time, often for impenetrable obstacles; comparisons on an identical discretization are less common, in particular for penetrable inhomogeneous media. This paper provides such an analysis and comparison. We write both methods as conforming Galerkin methods for one scattered-field problem, show that the PML acts on B_R as a perturbed DtN map with an exactly computable symbol, and deduce that, provided this perturbation is sufficiently small, the PML problem inherits well-posedness and an exponentially small error bound (Sections 2.1–2.3). Closed-form solutions for a disk separate the truncation error from the discretization error (Section 2.4). Both methods are implemented on the same meshes, spaces and sparse direct solver (Section 2.5) and compared with respect to mesh size, degree, truncation parameters, wavenumber, cost, and a non-circular scatterer with variable refractive index (Section 2.6); Section 3 concludes. We work in two dimensions; all formulas have*

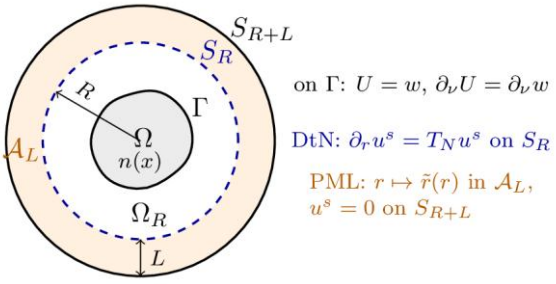


Figure 1. Geometry. FEM–DtN uses the mesh of $B_R = \overline{\Omega} \cup \Omega_R$ only; FEM–PML adds the layer $\mathcal{A}_L$. In the experiments both methods use the same mesh in B_R.

three-dimensional analogues (Monk, 2003).

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. The Helmholtz scattering problem

Proofs in this section are only sketched; full details are in (Cakoni et al., 2022; Colton & Kress, 2019).

2.1.1. The problem

Let $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ be a bounded domain with C^2 boundary Γ, unit normal ν directed into $\Omega^e := \mathbb{R}^2 \backslash \overline{\Omega}$, and Ω^e connected. Given the plane wave $u^i(x) = e^{ikx\cdot\hat{d}}$, $|\hat{d}| = 1$, $k > 0$, we seek the interior field $w \in H^1(\Omega)$ and the scattered field $u^s \in H^1_{\mathrm{loc}}(\Omega^e)$ such that, with the total exterior field $U = u^i + u^s$,

$$\Delta w + k^2 n(x)\, w = 0 \ \text{ in } \Omega, \qquad \Delta u^s + k^2 u^s = 0 \ \text{ in } \Omega^e,$$
$$U = w, \qquad \partial_\nu U = \partial_\nu w \quad \text{on } \Gamma, \qquad \lim_{r\to\infty} \sqrt{r}\,(\partial_r u^s - iku^s) = 0. \tag{1}$$

We assume **(A0)** $n \in L^\infty(\Omega)$, possibly discontinuous across Γ, and **(A1)** $\mathrm{Im}\, n \geq 0$ in Ω, i.e. the medium absorbs rather than produces energy (time dependence $e^{-i\omega t}$).

2.1.2. The DtN map

Fix $R > 0$ with $\overline{\Omega} \subset B_R := \{|x| < R\}$, write $S_R = \partial B_R$, $\Omega_R = B_R \backslash \overline{\Omega}$, and, for the PML, $\mathcal{A}_L := \{R < |x| < R + L\}$, $S_{R+L} := \{|x| = R + L\}$ (Figure 1). The DtN map $T: H^{1/2}(S_R) \to H^{-1/2}(S_R)$ sends φ to $\partial_r u_\varphi|_{S_R}$, where u_φ is the radiating solution in $|x| > R$ with boundary values φ. In Fourier modes (Colton & Kress, 2019; Monk, 2003),

$$T\varphi = \sum_{m\in\mathbb{Z}} z_m\, \hat{\varphi}_m e^{im\theta}, \qquad z_m = k\frac{H_m^{(1)\prime}(kR)}{H_m^{(1)}(kR)}, \qquad \hat{\varphi}_m = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \varphi(R,\theta) e^{-im\theta} d\theta \tag{2}$$

with $z_{-m} = z_m$ and $z_m \sim -|m|/R$ as $|m| \to \infty$. We write $\langle f, g\rangle_{S_R} := \int_{S_R} f\ \overline{g}\, ds$ for the $L^2(S_R)$ inner product, linear in f and antilinear in g, and also for its extension to the duality between $H^{-1/2}(S_R)$ and $H^{1/2}(S_R)$.

Lemma 1 *(Sign properties of T).* $\mathrm{Re} z_m < 0 < \mathrm{Im} z_m$ for all $m \in \mathbb{Z}$. Hence $\langle T\varphi, \varphi\rangle_{S_R} = 2\pi R \sum_m z_m |\hat{\varphi}_m|^2$ has $\mathrm{Re}\langle T\varphi, \varphi\rangle_{S_R} \le 0 \le \mathrm{Im}\langle T\varphi, \varphi\rangle_{S_R}$, and $\mathrm{Im}\langle T\varphi, \varphi\rangle_{S_R} = 0$ only for $\varphi = 0$ ($\mathrm{Im} z_m > 0$ by the Wronskian $J_m Y_m' - J_m' Y_m = 2/(\pi t)$, $\mathrm{Re} z_m < 0$ by the monotonicity of $|H_m^{(1)}(t)|$, from Nicholson's formula (Olver et al., n.d.)).

2.1.3. Scattered-field variational formulation

A PML damps every outgoing wave, but the incident plane wave is not outgoing. For both methods we therefore use the scattered field as unknown and set

$$v^s := u^s \text{ in } \Omega_R, \qquad v^s := w - u^i \text{ in } \Omega, \qquad \tilde{n} := 1 \text{ in } \Omega_R, \qquad \tilde{n} := n \text{ in } \Omega.$$

By the first transmission condition v^s has no jump across Γ, so $v^s \in X := H^1(B_R)$. Green's formula in Ω_R and in Ω, the second transmission condition and $\partial_r u^s = T u^s$ on S_R give the following problem; the converse direction is standard (Colton & Kress, 2019; Monk, 2003). Throughout, all forms are *sesquilinear*: linear in the trial function v and antilinear in the test function φ, which is always conjugated. Accordingly, ℓ^s is antilinear and X^* denotes the space of antilinear functionals on X.

Problem 2 *(V^s). Find $v^s \in X$ such that $a(v^s, \varphi) = \ell^s(\varphi)$ for all $\varphi \in X$, where*

$$a(v,\varphi) = \underbrace{\int_{B_R} (\nabla v \cdot \nabla\overline{\varphi} - k^2 \tilde{n}\, v\overline{\varphi})\, dx}_{=:a_0(v,\varphi)} - \langle Tv, \varphi\rangle_{S_R}, \tag{3}$$

$$\ell^s(\varphi) = k^2 \int_\Omega (n-1)\, u^i\, \overline{\varphi}\, dx. \tag{4}$$

Problem (V^s) is equivalent to (1): given v^s, one recovers $w = v^s|_\Omega + u^i$, and u^s is the radiating extension of $v^s|_{\Omega_R}$. Both transmission conditions are built in (the first through the space, the second naturally), so Γ enters only through the jump of $\tilde{n}$ and the support of ℓ^s.

2.1.4. Well-posedness

Lemma 3 (Gårding inequality).

Under (A0), $\mathrm{Re}\,a(v,v) \geq \|v\|^2_{H^1(B_R)} - (1 + k^2\|\tilde{n}\|_\infty)\|v\|^2_{L^2(B_R)}$ *for all* $v \in X$. *This uses only* $\mathrm{Re}\langle T\varphi, \varphi\rangle_{S_R} \leq 0$, *so it remains true if* T *is replaced by any* $\tilde{T}$ *with this property.*

Proof. *With* $\varphi = v$ *in (3), the conjugation of the test function gives* $a(v,v) = \|\nabla v\|^2_{L^2(B_R)} - k^2 \int_{B_R} \tilde{n}\,|v|^2\,dx - \langle Tv, v\rangle_{S_R}$. *Taking real parts and using* $\mathrm{Re}\langle Tv, v\rangle_{S_R} \leq 0$ *and* $\mathrm{Re}\,\tilde{n} \leq \|\tilde{n}\|_\infty$ *gives the claim.* □

Theorem 4 *(Well-posedness).* Under (A0)–(A1), Problem (V^s), and hence (1), has exactly one solution for every $k > 0$, and $\|v^s\|_{H^1(B_R)} \leq C\|\ell^s\|_{X^*}$.

Proof (sketch). *By Lemma 3 and Rellich's compact embedding* $H^1(B_R) \hookrightarrow L^2(B_R)$, *the operator of* a *is Fredholm of index zero (McLean, 2000), so uniqueness implies existence. If* $\ell^s = 0$, *taking* $\varphi = v$ *as in the proof of Lemma 3 gives* $0 = a(v,v) = \|\nabla v\|^2_{L^2(B_R)} - k^2 \int_{B_R} \tilde{n}\,|v|^2\,dx - \langle Tv, v\rangle_{S_R}$. *Since* $\mathrm{Im}\,\tilde{n} = 0$ *in* Ω_R, *the imaginary part is the energy identity*

$$\mathrm{Im}\langle Tv, v\rangle_{S_R} = -k^2 \int_\Omega \mathrm{Im}\,n\,|v|^2\,dx. \tag{5}$$

The left side is non-negative by Lemma 1 and the right side is non-positive by (A1), so $v = 0$ on S_R. Then u^s vanishes outside B_R, hence in Ω^e by analyticity, so w has zero Cauchy data on Γ; the unique continuation principle for $\Delta + k^2 n$ with $n \in L^\infty$ (Colton & Kress, 2019) gives $w = 0$. □

The medium enters only through a_0 *and* ℓ^s, *inside* B_R; *both truncation methods only replace* T.

2.2. Analysis of FEM–DtN

2.2.1. The truncated DtN map

For $N \geq 0$ let $T_N\varphi := \sum_{|m|\leq N} z_m\,\hat{\varphi}_m e^{im\theta}$, and let a_N be the form (3) with T replaced by T_N (Keller & Givoli, 1989). The truncated problem is to find $v_N \in X$ with $a_N(v_N, \varphi) = \ell^s(\varphi)$ for all $\varphi \in X$.

Lemma 5. For every N and $\varphi \in H^{1/2}(S_R)$,

$$\langle T_N\varphi, \varphi\rangle_{S_R} = 2\pi R \sum_{|m|\leq N} z_m\,|\hat{\varphi}_m|^2, \qquad \mathrm{Re}\langle T_N\varphi, \varphi\rangle_{S_R} \leq 0 \leq \mathrm{Im}\langle T_N\varphi, \varphi\rangle_{S_R}.$$

Consequently a_N *satisfies Lemma 3 with constants independent of* N*, and the truncated problem is Fredholm of index zero for every* N *(by orthogonality, Lemma 1 and the proof of Theorem 4).*

What is lost is uniqueness: every φ whose Fourier modes all satisfy $|m| > N$ gives $\langle T_N\varphi, \varphi\rangle = 0$. On such modes the truncated problem imposes a homogeneous Neumann condition on S_R and can become singular at isolated wavenumbers (Harari & Hughes, 1992). The usual remedy is $N \geq kR$; the modified DtN map of (Grote & Keller, 1995) removes the difficulty altogether.

Remark 6 *(Why* $T_N \to T$ *is not a small perturbation). Since* $|z_m| \sim |m|/R$*,* $\|T - T_N\|$ *does* not *tend to zero; only* $\|(T - T_N)v\|^2_{H^{-1/2}(S_R)} \simeq \sum_{|m|>N} |m|\,|\hat{v}_m|^2$ *does, so an error bound needs stability uniform in* N *(Hsiao et al., 2011; Koyama, 2007; Melenk & Sauter, 2010; Xu & Yin, 2021). For the PML the perturbation* is *small in operator norm (Proposition 9).*

Since $|H_m^{(1)}(kR)/H_m^{(1)}(k\rho)| \approx (\rho/R)^{|m|}$ *for* $|m| \gg kR$*, a field radiating outside a disk of radius* $\rho < R$ *has Fourier coefficients on* S_R *decaying like* $(\rho/R)^{|m|}$*, so the required* N *grows as* S_R *approaches the scatterer; for a disk with constant* n *the decay is super-exponential beyond* $|m| \approx k\sqrt{n}\,a$*, and* N *hardly depends on* R *(Section 2.4).*

2.2.2. Discretization

Let $X_h \subset X$ be the continuous piecewise polynomials of degree p on a triangulation of B_R by curved (isoparametric) triangles fitted to Γ, where n may jump, and to S_R (Lenoir, 1986). With the real-valued nodal basis $\{\phi_i\}$ of X_h and $v_{N,h} = \sum_j x_j\,\phi_j$, the Galerkin system is $\mathsf{A}_N x = \mathsf{b}$ with $(\mathsf{A}_N)_{ij} = a_N(\phi_j, \phi_i)$ and $\mathsf{b}_i = \ell^s(\phi_i)$. Since the ϕ_i are real, conjugation does not change these entries, so the matrix equals that of the bilinear forms used in the code (with which one takes $\varphi = \overline{v}$ in the energy arguments). Explicitly,

$$\mathsf{A}_N = \mathsf{A}_0 - \mathsf{G}\,\mathsf{Z}\,\mathsf{F}^{\mathsf{T}},$$
$$\mathsf{F}_{im} = \int_{S_R} \phi_i\, e^{-im\theta}\, ds, \quad \mathsf{G}_{im} = \int_{S_R} \phi_i\, e^{im\theta}\, ds, \quad \mathsf{Z} = \operatorname{diag}\left(\frac{z_m}{2\pi R}\right)_{|m|\leq N}, \tag{6}$$

where A_0 is the sparse matrix of a_0. Here $\mathsf{G} = \overline{\mathsf{F}}$, and since $z_{-m} = z_m$ the DtN term is a dense, complex symmetric $n_{S_R} \times n_{S_R}$ block of rank $2N + 1$; hence A_N is complex symmetric, but not Hermitian. We never form the block: with a sparse factorization of A_0, the Sherman–Morrison–Woodbury formula gives

$$\mathsf{A}_N^{-1}\mathsf{b} = \mathsf{y} + \mathsf{W}(\mathsf{Z}^{-1} - \mathsf{F}^{\mathsf{T}}\mathsf{W})^{-1}\mathsf{F}^{\mathsf{T}}\mathsf{y}, \qquad \mathsf{y} = \mathsf{A}_0^{-1}\mathsf{b}, \quad \mathsf{W} = \mathsf{A}_0^{-1}\mathsf{G}, \tag{7}$$

at the extra cost of $2N+1$ substitutions and one dense solve of size $2N+1$; A_0 (a Neumann-type problem) is invertible except at isolated wavenumbers.

By Lemma 5, and provided the truncated problem is uniquely solvable, Schatz's argument (Schatz, 1974) gives quasi-optimality $\|v_N - v_{N,h}\|_X \le C \inf_{\varphi_h \in X_h} \|v_N - \varphi_h\|_X$ for h small enough, hence $O(h^p)$ in X and $O(h^{p+1})$ in L^2 for smooth solutions, also on curved domains (Lenoir, 1986). The growth of C with k (pollution) belongs to the interior discretization, not to the truncation (Bernkopf et al., 2025; Galkowski, Lafontaine, Spence, & Wunsch, 2023; Ihlenburg & Babuška, 1995; Melenk & Sauter, 2010).

2.3. Analysis of FEM–PML

2.3.1. Complex stretching and the PML problem

Let $\sigma \ge 0$ on $[R, R+L]$, $\sigma = 0$ for $r < R$, and $\tilde r(r) := r + i\, s(r)$ with $s(r) := \int_R^r \sigma(t)\, dt$. We use $\sigma \equiv \sigma_0$, so $s(r) = \sigma_0 (r-R)$. Replacing r by $\tilde r(r)$ in the expansion of u^s in Hankel functions continues it analytically, and since $H_m^{(1)}(k\tilde r) \sim \sqrt{2/(\pi k \tilde r)}\, e^{i(k\tilde r - m\pi/2 - \pi/4)}$, the continued field decays like $e^{-k s(r)}$ in the layer (Bérenger, 1994; Collino & Monk, 1998b). With $d := d\tilde r/dr = 1 + i\sigma$ and $\bar d := \tilde r / r$, the stretched field satisfies (Collino & Monk, 1998b)

$$\operatorname{div}(\mathsf{M}\nabla u) + k^2\, d\,\bar d\, u = 0, \qquad \mathsf{M} := \frac{\bar d}{d}\, e_r e_r^{\top} + \frac{d}{\bar d}\, e_\theta e_\theta^{\top} = \det(\mathsf{J})\, \mathsf{J}^{-1}\mathsf{J}^{-\top}, \tag{8}$$

where $\mathsf{J} = d\, e_r e_r^{\top} + \bar d\, e_\theta e_\theta^{\top}$ is the Jacobian of $x \mapsto \tilde r(|x|)\, x/|x|$. Outside the layer (8) is the Helmholtz equation.

Problem 7 *($\mathrm{V}^{\mathrm{PML}}$). Find $v_L \in X_L := \{v \in H^1(B_{R+L}) :\ v = 0 \text{ on } S_{R+L}\}$ such that, for all $\varphi \in X_L$,*

$$a^{\mathrm{PML}}(v_L, \varphi) := a_0(v_L, \varphi) + \int_{\mathcal{A}_L} \left(\mathsf{M}\nabla v_L \cdot \nabla\overline{\varphi} - k^2 d\bar d\, v_L \overline{\varphi}\right) dx = \ell^s(\varphi).$$

The medium lies where the stretching is the identity, so $\tilde n$ and ℓ^s are not affected by the layer.

2.3.2. The layer as a perturbed DtN map

Eliminating the layer turns $(\mathrm{V}^{\mathrm{PML}})$ into a problem on B_R of the form (V^s), with T replaced by the DtN map T^{PML} of the layer.

Lemma 8 *(PML symbol).*

Let $\tilde\rho := R + L + i\, s(R+L)$ and $Z_m(t) := H_m^{(1)}(t)\, J_m(k\tilde\rho) - J_m(t)\, H_m^{(1)}(k\tilde\rho)$. If $Z_m(kR) \ne 0$ for all m, then $T^{\mathrm{PML}}\varphi = \sum_m T_m^{\mathrm{PML}}\, \hat\varphi_m e^{im\theta}$ with

$$T_m^{\mathrm{PML}} = k\,\frac{Z_m'(kR)}{Z_m(kR)}, \qquad q_m := \frac{H_m^{(1)}(k\tilde{\rho})}{J_m(k\tilde{\rho})},$$
$$T_m^{\mathrm{PML}} - z_m = \frac{2i}{\pi R}\,\frac{1}{H_m^{(1)}(kR)^2}\,\frac{q_m}{1 - q_m J_m(kR)/H_m^{(1)}(kR)}. \tag{9}$$

Proof. *In the variable $\tilde{r}$, (8) is the Helmholtz equation, so mode m of the layer solution vanishing at $\tilde{\rho}$ is a multiple of $Z_m(k\tilde{r})$; its conormal derivative at $r = R$ gives T_m^{PML}, and the difference follows from the Wronskian $J_m H_m^{(1)\prime} - J_m' H_m^{(1)} = 2i/(\pi kR)$.* □

The ratio q_m is the reflection of mode m at S_{R+L}: $|q_m| \approx 2e^{-2k\sigma_0 L}$ for propagating modes ($|m| \lesssim k|\tilde{\rho}|$), while evanescent modes satisfy $|T_m^{\mathrm{PML}} - z_m|/|z_m| \approx (R/|\tilde{\rho}|)^{2|m|}$ and are damped even without absorption (Figure 2, right).

Proposition 9 *(Well-posedness and convergence of the PML).* Assume (A0)–(A1) and $Z_m(kR) \neq 0$ for all m, let v^s solve (V^s), and set $\delta := \|T - T^{\mathrm{PML}}\|_{H^{1/2}(S_R)\to H^{-1/2}(S_R)} \simeq \sup_m |T_m^{\mathrm{PML}} - z_m|/(1 + |m|)$. There is $\delta_0 > 0$, depending only on the data of (V^s), such that if $\delta \le \delta_0$, then $(\mathrm{V}^{\mathrm{PML}})$ has a unique solution v_L and $\|v^s - v_L\|_{H^1(B_R)} \le C\,\delta\,\|v^s\|_{H^1(B_R)}$, with C independent of σ_0 and L.

Proof. *Let $\mathcal{A}: X \to X^*$ be the operator of a, an isomorphism by Theorem 4. Eliminating the layer (Lemma 8), $(\mathrm{V}^{\mathrm{PML}})$ is equivalent to $(\mathcal{A} + \mathcal{B})v = \ell^s$ on X with $\langle \mathcal{B}v, \varphi\rangle = \langle (T - T^{\mathrm{PML}})v, \varphi\rangle_{S_R}$, $\|\mathcal{B}\| \le C_{\mathrm{tr}}^2 \delta$. If $C_{\mathrm{tr}}^2 \delta \|\mathcal{A}^{-1}\| \le \frac{1}{2}$, a Neumann series gives $\|(\mathcal{A} + \mathcal{B})^{-1}\| \le 2\|\mathcal{A}^{-1}\|$, and $(\mathcal{A} + \mathcal{B})(v^s - v_L) = \mathcal{B}v^s$ gives the bound.* □

Remark 10. *Proposition 9 is a simple instance of the PML convergence theory (Bramble & Pasciak, 2007; Chen & Liu, 2005; Lassas & Somersalo, 1998); it only uses that $\mathcal{A}$ is an isomorphism, so it holds for every refractive index satisfying (A0)–(A1). By Lemma 8, δ is of order $e^{-2k\sigma_0 L}$ up to factors depending on k, R, L; exponential bounds of this type are proved in (Chen & Liu, 2005), uniformly at high frequency in (Galkowski, Lafontaine, & Spence, 2023), and wavenumber-explicit finite element analyses with PML are given in (Chaumont-Frelet et al., 2022; Li & Wu, 2025). At the discrete level the argument carries over only if the mesh resolves the layer; unresolved layers reflect spuriously (Section 2.6.3).*

Discretization and parameters. *The PML problem uses the same finite element space, extended by zero on S_{R+L}; with a real basis and symmetric $\mathbf{M}$, its matrix $\left(a^{\mathrm{PML}}(\phi_j, \phi_i)\right)$ is sparse and complex symmetric. The continuous error is governed by $k\sigma_0 L$, but the field decays in the layer on the length scale $1/(k\sigma_0)$, which the mesh must resolve, so the error is U-shaped in σ_0: a weak layer reflects at S_{R+L}, a strong one at S_R. Graded (Collino & Monk,*

1998a) or unbounded (Bermúdez et al., 2007) profiles reduce this sensitivity; we keep the constant profile.

2.4. A benchmark: the disk with constant refractive index

For a disk all solutions are known in closed form. Let $\Omega = \{|x| < a\}$ with constant $n = \eta^2$ and $\hat{d} = (1,0)$. With $u^i = \sum_m i^m J_m(kr)e^{im\theta}$, $u^s = \sum_m b_m H_m^{(1)}(kr)e^{im\theta}$ for $r > a$ and $w = \sum_m c_m J_m(k\eta r)e^{im\theta}$ for $r < a$, the transmission conditions give

$$b_m = -i^m \frac{J_m'(ka)J_m(k\eta a) - \eta J_m'(k\eta a)J_m(ka)}{D_m}, \qquad c_m = \frac{2i^{m+1}}{\pi ka\, D_m},$$
$$D_m := H_m^{(1)\prime}(ka)J_m(k\eta a) - \eta J_m'(k\eta a)H_m^{(1)}(ka), \tag{10}$$

where $D_m \neq 0$ by Theorem 4. The far-field pattern, defined by $u^s(x) = e^{ikr}r^{-1/2}(u_\infty(\theta) + O(r^{-1}))$, is (Colton & Kress, 2019)

$$u_\infty(\theta) = \sqrt{2/(\pi k)}\; e^{-i\pi/4} \sum_m (-i)^m b_m e^{im\theta}. \tag{11}$$

The coefficients $|b_m|$ are of order one for $|m| \lesssim k\eta a$ and decay super-exponentially beyond.

Truncated problems. *Replacing z_m by any symbol $\hat{z}_m$ (the truncated symbol $z_m \mathbf{1}_{|m|\le N}$, or T_m^{PML}) keeps the separation: in $a < r < R$ the scattered field becomes $A_m H_m^{(1)}(kr) + B_m J_m(kr)$, and each mode requires a 3×3 solve for (A_m, B_m, c_m) from the transmission conditions and $k(A_m H_m^{(1)\prime}(kR) + B_m J_m'(kR)) = \hat{z}_m(A_m H_m^{(1)}(kR) + B_m J_m(kR))$. The far field computed from the trace on S_R, as in the code, gives the* continuous *truncation error of both methods (Figure 2).*

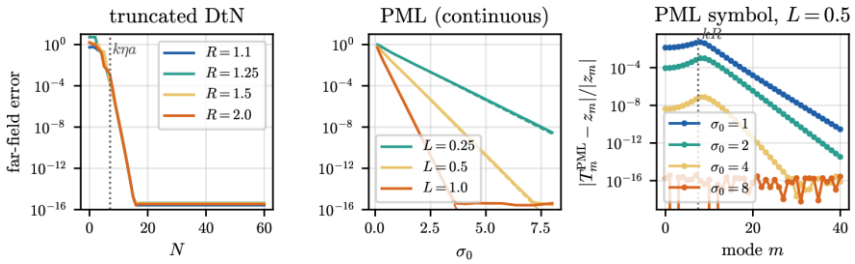


Figure 2. Continuous truncation errors for the disk ($a = 1$, $k = 5$, $n = 2$). Left: truncated DtN, relative far-field error versus N for four radii R. Middle: PML ($R = 1.5$), error versus σ_0 for three thicknesses L; dashed: $e^{-2k\sigma_0 L}$. Right: relative symbol error of the PML for $L = 0.5$.

For the truncated DtN map, the error is below 10^{-6} for $N \geq 10$ and at machine precision for $N \geq 16$, for every $R \in [1.1,2]$: the thresholds are set by the decay of b_m ($k\eta a \approx 7$), not by

$kR \in [5.5,10]$, and $N = \lceil kR \rceil$ alone gives errors from $3 \cdot 10^{-3}$ ($R = 1.1$) to $4 \cdot 10^{-8}$ ($R = 2$). The PML error follows $e^{-2k\sigma_0 L}$ almost exactly, so only $\sigma_0 L$ matters at the continuous level (10^{-6} needs $k\sigma_0 L \approx 7.1$–7.4).

2.5. Computational implementation

For each h, one quasi-uniform triangulation of B_{R+L} fitted to Γ, S_R and S_{R+L} is generated with Netgen (Schöberl, 1997) and curved isoparametrically with degree p (Lenoir, 1986); FEM–DtN uses its restriction to B_R, so both methods share the *same* discrete space in B_R. In the layer, M and $d\bar{d}$ are evaluated through $x \mapsto x + i\sigma_0(|x| - R)\, x/|x|$. The PML matrix and A_0 are factorized by the same sparse $\mathsf{LDL}^{\mathsf{T}}$ solver; the DtN term is handled by (7), and for several incident fields the factorization and W are reused. Unless studied, $N = \lceil kR \rceil + 15$. Errors are measured in B_R only: the relative L^2 and H^1 errors of v^s against the exact series, and the far-field error $e_\infty = \max_\theta |u_\infty - u_{\infty,h}| / \max_\theta |u_\infty|$ over 360 directions, with $u_{\infty,h}$ obtained identically for both methods from the Fourier coefficients of v_h^s on S_R, $b_{h,m} = \hat{v}_{h,m} / H_m^{(1)}(kR)$ in (11). Without an exact solution, the reference is a finer FEM–DtN solution ($p = 5$, $h = 0.04$, $N = 60$). Times are wall-clock times of Python/NGSolve 6.2 (Schöberl, 2014) on an Apple M3 laptop, without parallelization.

2.6. Numerical comparison

Unless stated otherwise: disk $a = 1$, $k = 5$, $n = 2$, $\hat{d} = (1,0)$, $R = 1.5$, $N = 23$, and PML with $L = 0.5$ and $\sigma_0 \in \{2,4\}$, i.e. $e^{-2k\sigma_0 L} \approx 4.5 \cdot 10^{-5}$ and $2.1 \cdot 10^{-9}$.

2.6.1. Convergence in h and p

Figure 3 shows the errors for $p = 1, \ldots, 4$ on five meshes (the PML adds 70–75% degrees of freedom). FEM–DtN converges at the expected rates $O(h^{p+1})$ in L^2 and $O(h^p)$ in H^1 (observed L^2 orders 2.0, 3.1–3.8, 4.0–4.3, 5.2–5.4), so the jump of n across the fitted interface does not reduce the rates. With $\sigma_0 = 2$ the PML error stalls at the continuous PML error $1.1 \cdot 10^{-4}$. With $\sigma_0 = 4$ it follows the DtN errors down to $5.7 \cdot 10^{-8}$ (DtN: $2.8 \cdot 10^{-8}$; $p = 4$, $h = 0.05$), but on coarse meshes it is worse ($1.6 \cdot 10^{-2}$ against $1.3 \cdot 10^{-3}$ for $p = 4$, $h = 0.4$), and for $p = 1$ it converges only at order 0.7–0.8: the decay length $1/(k\sigma_0) = 0.05$ is not resolved. The DtN far-field error is far below its L^2 error ($1.1 \cdot 10^{-11}$ for $p = 4$, $h = 0.05$), whereas the PML gives $4.4 \cdot 10^{-9}$, since its far field inherits the reflection of the layer.

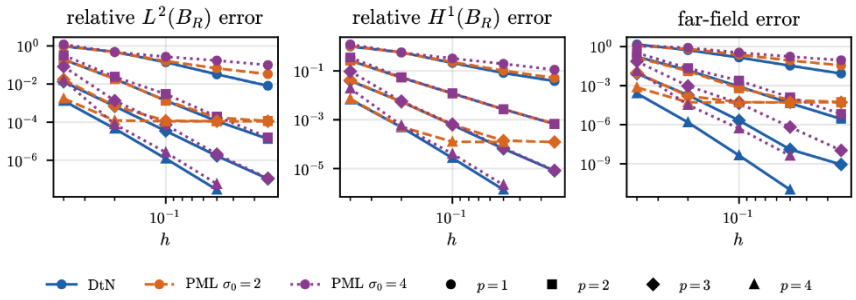


Figure 3. Disk, $k = 5$, $n = 2$: errors versus mesh size for FEM–DtN ($N = 23$) and FEM–PML ($L = 0.5$, $\sigma_0 = 2$ and 4). Markers: polynomial degree.

2.6.2. FEM–DtN: number of modes and truncation radius

With the mesh fixed ($p = 4$, $h = 0.1$), the FEM–DtN errors versus N follow Figure 2 (left) until they reach the discretization error at $N = 10$–12, for every $R \in [1.1,2]$; extra modes neither help nor hurt, and the truncated problem was solvable for every $N \geq 0$. $R = 1.1$ gives the accuracy of $R = 2$ with under a third of the degrees of freedom ($6\,579$ against $21\,453$).

2.6.3. FEM–PML: strength and thickness of the layer

Figure 4 shows the predicted U-shape: for small σ_0 the error follows $e^{-2k\sigma_0 L}$, for large σ_0 the unresolved layer reflects, and the DtN error is reached only in a narrow window. On the mesh $h = 0.1$ the best σ_0 is 3.1 for $L = 0.5$ (error $1.7 \cdot 10^{-6}$ against $1.2 \cdot 10^{-6}$ for DtN) and 1.7–4.1 for $L = 1$, while $L = 0.25$ stays a factor 95 above. The window moves to larger σ_0 as h decreases (1.3–3.1 at $h = 0.2$ for $L = 1$), so a PML tuned on one mesh is not automatically good on another. A thicker layer widens the window but costs unknowns ($19\,941$ for $L = 0.5$, $32\,191$ for $L = 1$, $11\,613$ for DtN).

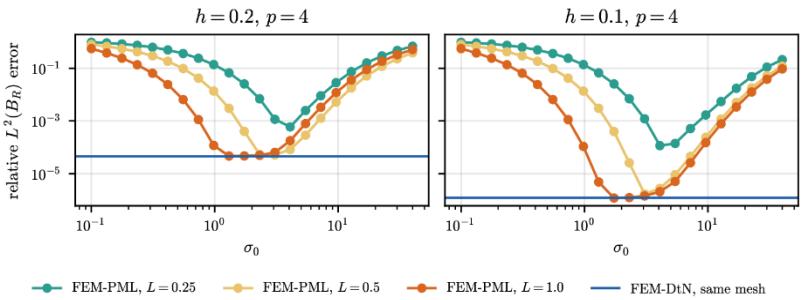


Figure 4. FEM–PML, $p = 4$: $L^2(B_R)$ error versus the absorption σ_0 for three layer thicknesses, on two meshes (mesh size in the layer as in B_R). Horizontal line: FEM–DtN on the same mesh.

2.6.4. Computational cost

Table 1 compares cost for $R = 1.5$, $L = 0.5$, $p = 3$ and the same mesh in B_R. Here the PML needs 1.7 times as many unknowns and 1.7–1.8 times as many nonzeros as DtN (a ratio that changes with R, L and the layer mesh), and in every run DtN is more accurate for a given number of unknowns. An assembled DtN block would add 65–72% to the nonzeros; with (7) it is never formed. Per solve our PML is about three times faster (the DtN solve needs 47 extra substitutions), so the cost for a given error is similar: for $p = 4$ ($h = 0.1, 0.05$), DtN reaches $1.2 \cdot 10^{-6}$ in 0.10 s and $2.8 \cdot 10^{-8}$ in 0.57 s, the PML $2.6 \cdot 10^{-6}$ in 0.06 s and $5.7 \cdot 10^{-8}$ in 0.28 s.

Table 1. Cost for $p = 3$. DtN: $N = 23$; the dense block is not formed (its size is shown for reference). PML: $L = 0.5$, $\sigma_0 = 4$. Times in seconds.

h	method	DOFs	nnz (sparse)	nnz (dense block)	assembly [s]	solve [s]	L^2 error	far-field error
0.1	DtN	6 568	109 948	79 524	0.01	0.06	3.5e-05	2.2e-06
0.1	PML ($\sigma_0 = 4$)	11 170	194 032	–	0.01	0.02	7.2e-05	4.5e-05
0.05	DtN	29 047	490 399	318 096	0.03	0.32	1.7e-06	1.3e-08
0.05	PML ($\sigma_0 = 4$)	49 606	851 569	–	0.04	0.11	2.1e-06	6.8e-07
0.025	DtN	116 932	1 981 042	1 279 161	0.12	2.02	1.1e-07	9.2e-10
0.025	PML ($\sigma_0 = 4$)	201 733	3 446 044	–	0.18	0.65	1.1e-07	1.1e-08

2.6.5. Dependence on the wavenumber

We increased k from 2.5 to 20 with $h = \lambda/6$ and $\lambda/10$ in air, $p = 3$, $N = \lceil kR \rceil + 15$ and $\sigma_0 = 10/(kL)$, i.e. $e^{-2k\sigma_0 L} = e^{-20}$. For $k \geq 10$ both methods give the same error to two digits, the interior discretization error; pollution would affect both equally (Chaumont-Frelet et al., 2022; Galkowski, Lafontaine, Spence, & Wunsch, 2023; Ihlenburg & Babuška, 1995; Li & Wu, 2025; Melenk & Sauter, 2010). At small k the PML is much worse ($1.2 \cdot 10^{-1}$ against $7.7 \cdot 10^{-4}$ for $k = 2.5$, $h = 0.4$): the decay length $1/(k\sigma_0) = L/10$ is fixed while the mesh scales with λ, so the layer must be meshed according to L and σ_0.

2.6.6. A non-circular scatterer with variable refractive index

Finally, let Γ *be the kite* $x(t) = 0.6(\cos t + 0.65\cos 2t - 0.65) + 0.15$, $y(t) = 0.9\sin t$, *with* $n(x) = 2 + 0.5\sin(2x_1)\cos(x_2)$, $k = 5$, $R = 1.5$. *The two solutions differ by at most*

$3 \cdot 10^{-5}$ *in* B_R *(median* $8 \cdot 10^{-7}$*;* $\max_{B_R} |u^s| \approx 3.4$*, Figure 5). On the coarser meshes the DtN far-field error is* 1.4–5 *times smaller (Table 2); refining the layer alone to* $h = 0.025$ *brings the PML errors within* 5% *of the DtN errors (*26% *for* $p = 3$, $h = 0.2$*), at* 8–31 *times as many unknowns. On the finest mesh both reach about* $2.7 \cdot 10^{-6}$*, the accuracy of the reference.*

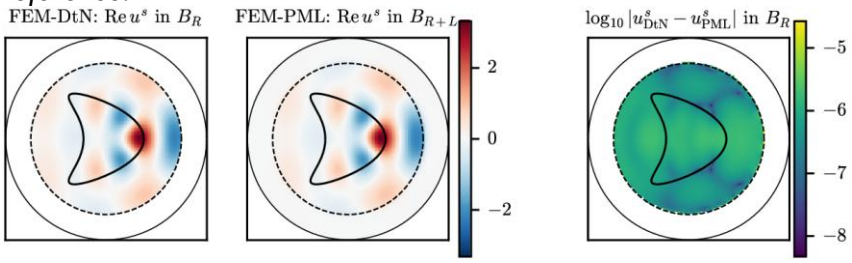


Figure 5. Kite with variable n, $p = 3$, $h = 0.05$: real part of the scattered field computed with FEM–DtN (in B_R) and with FEM–PML (in B_{R+L}; the field is damped in the layer). Right: pointwise difference of the two solutions in B_R.

Table 2. Kite: far-field errors relative to the reference solution. DtN: $N = 23$; PML: $L = 0.5$, $\sigma_0 = 4$.

		FEM-DtN		FEM-PML	
p	h	DOFs	far-field error	DOFs	far-field error
2	0.2	730	1.6e-02	1 260	2.3e-02
2	0.1	3 111	9.6e-04	5 083	2.5e-03
2	0.05	12 553	5.8e-05	21 544	1.4e-04
3	0.2	1 606	5.3e-04	2 881	1.2e-03
3	0.1	6 928	9.6e-06	11 530	4.6e-05
3	0.05	28 102	2.6e-06	48 661	2.9e-06

3. CONCLUSION

We have analysed and compared FEM–DtN and FEM–PML for Helmholtz scattering by an inhomogeneous medium on identical meshes and solvers. The PML is a perturbed DtN map, deviating from the exact one by order $e^{-2k\sigma_0 L}$; once this deviation is sufficiently small, the PML problem inherits well-posedness and an error bound proportional to it. The truncated DtN map keeps a uniform Gårding inequality but is not a small perturbation; its error is the Fourier tail of the trace on S_R.

The numerical study is two-dimensional (disk and kite, circular DtN boundary, constant PML profile, $k \leq 20$, $p \leq 4$*, sparse direct solver), and the following statements refer to these configurations. FEM–DtN converged at the expected finite element rates; FEM–PML did so only when the layer was resolved by the mesh and its truncation error was below the discretization error, and otherwise stalled or converged at a reduced rate. The differences thus arise from the treatment of the truncation and its interaction with the discretization. FEM–DtN needed only* $N = 10$–16 *modes, independently of* R*, and gave far fields orders of*

magnitude more accurate on the same mesh; the PML matched this only in a narrow, mesh-dependent range of σ_0. With $R = 1.5$, $L = 0.5$ the PML needed about 1.7 times as many unknowns but solved faster, so the cost for a given accuracy was similar; the kite behaved alike (Table 3).

Table 3. Summary. Above the middle rule: analysis (Sections 2.2–2.3) and tested configurations (Section 2.6); below: capabilities from the literature, not tested here.

	FEM–DtN	**FEM–PML**
Continuous error	Fourier tail of the trace on S_R	$\approx e^{-2k\sigma_0 L}$ (Lemma 8)
Parameters	N only; in our tests not sensitive once $N \gtrsim k\sqrt{n}a + 5$	σ_0, L, profile, mesh in the layer; optimum depends on h
Unknowns (same mesh in B_R)	$1\times$	$1.7\times$ here ($L = 0.5$, $R = 1.5$); depends on L, R and the layer mesh
Matrix; time per solve (our code)	Sparse + rank $2N + 1$ (Woodbury); about $3\times$ PML	Sparse; $1\times$
Far-field accuracy	Best: 10^{-11} for $p = 4$, $h = 0.05$	Limited by the layer: $4 \cdot 10^{-9}$ for the same mesh
Low frequency, coarse mesh	Robust in our tests	Unresolved layer reflects
Truncation radius	Can hug the scatterer ($R = 1.1a$)	Layer adds DOFs regardless of R
General capabilities (literature, not tested here)		
Geometry of S_R	Circle (or sphere) for the Fourier-series DtN map	Any convex truncation boundary; nonconvex with (Li et al., 2023)
Extension to 3D	Spherical harmonics, $(N+1)^2$ modes (Grote & Keller, 1995)	Same construction in spherical coordinates (Collino & Monk, 1998b)

In the setting studied here, FEM–DtN appears preferable whenever a circular truncation boundary is possible, in particular for far fields; FEM–PML remains a flexible alternative for other geometries or three dimensions, if the layer is strong ($k\sigma_0 L \gtrsim 10$) and resolved by the mesh. Other PML profiles, solvers or implementations may shift the cost balance. Open questions include N-uniform stability of the truncated DtN problem (Hsiao et al., 2011; Koyama, 2007; Xu & Yin, 2021), a mode-uniform bound for δ (Chen & Liu, 2005; Galkowski, Lafontaine, & Spence, 2023), layered media and higher frequencies.

4. BIBLIOGRAPHY

Bérenger, J.-P. (1994). A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *Journal of Computational Physics, 114*(2), 185–200. https://doi.org/10.1006/jcph.1994.1159

Bermúdez, A., Hervella-Nieto, L., Prieto, A., & Rodríguez, R. (2007). An optimal perfectly matched layer with unbounded absorbing function for time-harmonic acoustic scattering problems. Journal of Computational Physics, 223*(2), 469–488.*

https://doi.org/10.1016/j.jcp.2006.09.018
Bernkopf, M., Chaumont-Frelet, T., & Melenk, J. M. (2025). Wavenumber-explicit stability and convergence analysis of hp finite element discretizations of Helmholtz problems in piecewise smooth media. Mathematics of Computation, 94*(351), 73–122.* https://doi.org/10.1090/mcom/3958
Bramble, J. H., & Pasciak, J. E. (2007). Analysis of a finite PML approximation for the three dimensional time-harmonic Maxwell and acoustic scattering problems. Mathematics of Computation, 76*(258), 597–614.* https://doi.org/10.1090/S0025-5718-06-01930-2
Cakoni, F., Colton, D., & Haddar, H. (2022). Inverse scattering theory and transmission eigenvalues *(2nd ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics.* https://doi.org/10.1137/1.9781611977424
Chaumont-Frelet, T., Gallistl, D., Nicaise, S., & Tomezyk, J. (2022). Wavenumber-explicit convergence analysis for finite element discretizations of time-harmonic wave propagation problems with perfectly matched layers. Communications in Mathematical Sciences, 20*(1), 1–52.* https://doi.org/10.4310/CMS.2022.v20.n1.a1
Chen, Z., & Liu, X. (2005). An adaptive perfectly matched layer technique for time-harmonic scattering problems. SIAM Journal on Numerical Analysis, 43*(2), 645–671.* https://doi.org/10.1137/040610337
Collino, F., & Monk, P. (1998a). Optimizing the perfectly matched layer. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 164*(1–2), 157–171.* https://doi.org/10.1016/S0045-7825(98)00052-8
Collino, F., & Monk, P. (1998b). The perfectly matched layer in curvilinear coordinates. SIAM Journal on Scientific Computing, 19*(6), 2061–2090.* https://doi.org/10.1137/S1064827596301406
Colton, D., & Kress, R. (2019). Inverse acoustic and electromagnetic scattering theory *(4th ed.). Springer.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-30351-8
Galkowski, J., Lafontaine, D., & Spence, E. A. (2023). Perfectly-matched-layer truncation is exponentially accurate at high frequency. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 55*(4), 3344–3394.* https://doi.org/10.1137/21M1443716
Galkowski, J., Lafontaine, D., Spence, E. A., & Wunsch, J. (2023). Decompositions of high-frequency Helmholtz solutions via functional calculus, and application to the finite element method. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 55*(4), 3903–3958.* https://doi.org/10.1137/21M1409160
Grote, M. J., & Keller, J. B. (1995). On nonreflecting boundary conditions. Journal of Computational Physics, 122*(2), 231–243.* https://doi.org/10.1006/jcph.1995.1210
Harari, I., & Hughes, T. J. R. (1992). Analysis of continuous formulations underlying the computation of time-harmonic acoustics in exterior domains. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 97*(1), 103–124.* https://doi.org/10.1016/0045-7825(92)90109-W
Hsiao, G. C., Nigam, N., Pasciak, J. E., & Xu, L. (2011). Error analysis of the DtN-FEM for the scattering problem in acoustics via Fourier analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 235*(17), 4949–4965.* https://doi.org/10.1016/j.cam.2011.04.020
Ihlenburg, F., & Babuška, I. (1995). Finite element solution of the Helmholtz equation with high wave number Part I: The h-version of the FEM. Computers & Mathematics with Applications, 30*(9), 9–37.* https://doi.org/10.1016/0898-1221(95)00144-N
Keller, J. B., & Givoli, D. (1989). Exact non-reflecting boundary conditions. Journal of Computational Physics, 82*(1), 172–192.* https://doi.org/10.1016/0021-9991(89)90041-7

Koyama, D. (2007). Error estimates of the DtN finite element method for the exterior Helmholtz problem. Journal of Computational and Applied Mathematics, 200*(1), 21–31.* https://doi.org/10.1016/j.cam.2005.12.004

Lassas, M., & Somersalo, E. (1998). On the existence and convergence of the solution of PML equations. Computing, 60*(3), 229–241.* https://doi.org/10.1007/BF02684334

Lenoir, M. (1986). Optimal isoparametric finite elements and error estimates for domains involving curved boundaries. SIAM Journal on Numerical Analysis, 23*(3), 562–580.* https://doi.org/10.1137/0723036

Li, B., Li, Y., & Zheng, W. (2023). A new perfectly matched layer method for the Helmholtz equation in nonconvex domains. SIAM Journal on Applied Mathematics, 83*(2), 666–694.* https://doi.org/10.1137/22M1482524

Li, Y., & Wu, H. (2025). Higher-order FEM and CIP-FEM for Helmholtz equation with high wave number and perfectly matched layer truncation. Journal of Scientific Computing, 104*(2), Article 47.* https://doi.org/10.1007/s10915-025-02959-1

McLean, W. (2000). Strongly elliptic systems and boundary integral equations. *Cambridge University Press.*

Melenk, J. M., & Sauter, S. (2010). Convergence analysis for finite element discretizations of the Helmholtz equation with Dirichlet-to-Neumann boundary conditions. Mathematics of Computation, 79*(272), 1871–1914.* https://doi.org/10.1090/S0025-5718-10-02362-8

Monk, P. (2003). Finite element methods for Maxwell's equations. *Oxford University Press.* https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198508885.001.0001

Olver, F. W. J., Olde Daalhuis, A. B., Lozier, D. W., Schneider, B. I., Boisvert, R. F., Clark, C. W., Miller, B. R., Saunders, B. V., Cohl, H. S., & McClain, M. A. (Eds.). (n.d.). NIST digital library of mathematical functions. *National Institute of Standards and Technology.* https://dlmf.nist.gov/

Schatz, A. H. (1974). An observation concerning Ritz–Galerkin methods with indefinite bilinear forms. Mathematics of Computation, 28*(128), 959–962.* https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1974-0373326-0

Schöberl, J. (1997). NETGEN: An advancing front 2D/3D-mesh generator based on abstract rules. Computing and Visualization in Science, 1*(1), 41–52.* https://doi.org/10.1007/s007910050004

Schöberl, J. (2014). C++11 implementation of finite elements in NGSolve *(ASC Report 30/2014). Institute for Analysis and Scientific Computing, TU Wien.* https://ngsolve.org

Xu, L., & Yin, T. (2021). Analysis of the Fourier series Dirichlet-to-Neumann boundary condition of the Helmholtz equation and its application to finite element methods. Numerische Mathematik, 147*(4), 967–996.* https://doi.org/10.1007/s00211-021-01195-7

UNDERSTANDING THE LOW APPEAL OF GEOSCIENCES IN THE MOROCCAN EDUCATION SYSTEM: A SURVEY OF PROSPECTIVE TEACHERS

El Hassania El Hamzaoui
Geomatics, Geo-Resources and Environment Laboratory, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences and Technology, University Sultan Moulay Slimane, B.P 523, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco;
Hind ElHamzaoui
Ibn Zohr University, Higher School of Education and Training – Agadir, Morocco

Abstract
Earth sciences play a crucial role in understanding terrestrial dynamics and addressing contemporary environmental challenges, ranging from natural resource management to geological hazard mitigation. Despite their evident educational and societal value, Earth science education faces significant global disparities. While several educational systems successfully engage students by incorporating inquiry-based approaches and fieldwork, other contexts—particularly in Morocco—struggle with numerous pedagogical, material, and institutional constraints. This research investigates the factors influencing the low appeal of Earth sciences within the Moroccan education system. Based on a survey conducted among 140 science students and future teachers, this study analyzes their perceptions of the discipline, the obstacles encountered during their academic path, and their learning conditions. The findings highlight a critical lack of practical activities and fieldwork, a dominance of traditional teaching methods, and a negative perception of the discipline, which is often viewed as purely reliant on memorization. In light of these insights, the study offers pedagogical and institutional recommendations aimed at elevating the status of Earth sciences and renewing their instruction.
Keywords: Earth sciences, geoscience education, subject attractiveness, Moroccan education system, perceptions, prospective teachers.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ASSESSING BASIC SCIENCE AND TECHNOLOGY CURRICULUM IMPLEMENTATION IN JUNIOR SECONDARY SCHOOLS IN JOS SOUTH LOCAL GOVERNMENT OF PLATEAU STATE, NIGERIA

ASABE EDWARD BASH (PhD)
Department of Science and Technology,Faculty of Education,University of Jos.
ORCID:htt//ORCID.org/0009-0007-1050-3582
AMINA MUSTAPHA
Department of Integrated Science,Kaduna State College of Education,
Gidan Waya. PMB 1024Kafachan, Kaduna State, Nigeria.

ABSTRACT
This research was designed to assess the implementation of Basic Science and Technology program in junior secondary schools in Jos South of Plateau State, Nigeria. The design of the study was a survey design, specifically, the descriptive survey. The population of the study was 1,750. A total sample of 100 students and 20 teachers were used. The instrument used was a questionnaire inventory which was administered to both teachers and students to collect the data. The researchers used random sampling techniques of balloting to select the respondents. The researchers thus adopted the stratified random technique of balloting in order to give male and female students/teachers equal chance of being selected as samples. The instrument items were scrutinized by 3 experts, two (2) in Basic Science and Technology and one (1) in Research, Measurement and Evaluation unit. The test and retest method was used to establish a reliability coefficient, where the same questionnaire was administered twice to the same group of twenty (20) students and five (5) teachers about three weeks interval the resulting test scores was correlated using Cronbach alpha to get the reliability coefficient of 0.76. The stability in the scores and responses in both questionnaires were used to determine the reliability of the instrument. The result of the study revealed these findings; Basic Science and technology curriculum in Jos south LGA junior secondary school are being implemented to a large extent, facilities available for the implementation of curriculum were not adequate. In conclusion, it has been proved in the course of study that Jos South LGA has no enough qualified teachers that can enhance the implementation of the Basic Science and Technology curriculum. Furthermore, it has been proved that the facilities available for the implementation of the Basic Science and Technology curriculum are inadequate and underutilized. It has been proved that teaching methods; discussion method, group investigation, field trip, guided discovery and cooperative method are the methods of teaching commonly adopted by teachers. It was recommended that, there should be an advocate for increase in government funding and better resource allocation to address infrastructure and learning materials shortages, regular training and development programs for Basic Science and Technology should be encouraged to improve the skills of students and effective coverage of curriculum in schools by teachers in Jos South LGA. Plateau State, Nigeria.

INTRODUCTION
Basic Science and Technology is a science subject offered in the upper basic level, it is a science in which concept and principles are presented so as to express the fundamental unity of science subjects such as Biology, Chemistry, Physics, Agriculture and other Science subjects. Basic science and Technology offer the basic training in scientific skills required for human survival, sustainable development and societal transformation. It is the bringing together traditionally separate science subjects so that students grasp a more authentic understanding of science in the foundation level (NERDC 2013). Agbo, (2015) stated that, Basic Science is the bedrock to advance studies in science, technology and engineering. The subject has been chosen as one of the core subjects offered at the junior secondary school. It is taught in order to expose students to the basic workings of the scientific enterprise and it also provides the learners with the necessary foundation upon which to build subsequent science learning in the senior secondary schools. Basically, core curriculum is intended to provide all students

with an education that will serve them well regardless of their choices after leaving school. It reinforces the teaching of basic skills and introduces an expanded range of new knowledge and skills to the curriculum.

The importance of science and technology to national development in the life of any country cannot be over-emphasized. This is because knowledge and skills in science and technology are very vital in the development of any society; the fast-changing applications of science and technology and the global reliance on its processes and products in all areas of human endeavours have made them invaluable that any society or country without science and technology risks being alienated from the global village. This means that for an individual to be well-grounded in science, and competent enough to face the challenges of life in his society, the person must have gone through a science program that is well planned, assessed and implemented. Basic Science and Technology curriculum was designed by the NERDC to promote inquiry- based learning, creativity, critical thinking, and practical activities among junior secondary school students.

Curriculum implementation is how teachers deliver instruction and assessment through the use of specified resources provided in a curriculum. Curriculum implementation process involves helping the learner acquire knowledge or experience. It therefore refers to how the planned or officially designed course of study is translated by the teacher into syllabuses, scheme of work and lessons to be delivered to students. These elements of curriculum implementation are essential in recording the success of the Universal Basic Education (UBE, 2004) program in general and Science program of UBE in particular. Hence, ascertaining availability and adequacy of these elements becomes inevitable. The main objectives of the basic science program according to the National Policy on Education (2014) include: To develop interest in science and technology, acquire basic knowledge and skills in science and technology, apply scientific and technological knowledge and skills to meet contemporary societal demands, take advantage of numerous career opportunity created by science and technology, be prepared for further studies of science and technology and be safe and security conscious and to avoid drug abuse and related issues.

Laudable as the importance of the curriculum, observation ns and reports have shown that many junior secondary schools experience challenges in implementing the Basic Science and Technology curriculum effectively. Some of these challenges are; Inadequate instructional materials, insufficient laboratories and workshop facilities, lack of qualified teachers, overcrowded classroom, poor funding, and limited opportunities for practical activities. In some schools, teachers rely mainly on lecture methods instead of learners-centred approaches recommended by the curriculum.

From the foregoing, these problems may negatively affect students' achievement, interest and participation in basic Science and Technology. It is in view of these that this study intends to assess basic science and Technology curriculum implementation in junior secondary schools in Plateau State, Nigeria in order to determine the extent to which the curriculum objectives are being achieved.

STATEMENT OF THE PROBLEM

The current situation of Basic Science and Technology teaching and learning in Nigeria is a concern to all including government and the society at large. Research indicates that many students found Basic Science and Technology to be difficult, boring and not interesting to the students (Abimbola, 2013) Inadequate funding, insufficient resources, poor teaching skills and lack of support for teachers among other factors further limit the quality of Basic Science and Technology teaching and learning in Nigerian Junior Secondary Schools (Okebukola, 2017). The introduction of BST curriculum was aimed at equipping students with scientific knowledge, technological skills, problem -solving abilities among others. Despite these objectives, the effective implementation of the Basic Science and Technology in many junior secondary schools appears to be faced with several challenges.

Evidence from the chief examiners report of 2020 to 2024 indicates the Basic Science and Technology in Nigeria is faced with numerous problems that need to be addressed so that the goal of equipping students to live effectively in our modern age of science and technology, as in the objectives of Basic

Science and Technology. Efforts at developing scientifically literate citizens by improving the quality of science teaching and learning in schools is a laudable reform that should pre-occupy the mind of policy makers and all key stakeholders in science education in Nigeria. If the problems in Basic Science and Technology are not addressed, several consequences may arise, such as: Continued difficulty and disinterest- Students will likely continue to find Basic Science and Technology difficult, boring and uninteresting, leading to disengagement and decrease academic performance. Low quality education (factors such as large class sizes, inadequate funding, and insufficient resources) poor teaching will persist, further diminishing. Missed opportunities for reform- efforts to improve the quality of teaching and learning which are crucial for developing scientifically literate citizens may be hampered if the underlying issues are not tackled. Continued disparity- disparities in education quality between urban and rural area, as well as among different socioeconomic groups, may persist or even worse, exacerbating existing inequalities in access to the modern world.

1.3 AIM AND OBJECTIVIES OF THE STUDY

The study sets out to determine the following specific objectives assessing the implementation of Basic Science and Technology curriculum to;

1. determine the extent of coverage of the Basic Science and Technology curriculum in Jos South LGA of Plateau State.
2. appraisal of the qualifications of Basic Science and Technology teachers in Jos South LGA of Plateau State
3. assess the Basic Science and Technology teachers' years of teaching experiences in Jos South LGA of Plateau State.
4. assessing the extent of availability and adequacy of teaching resources in Jos South LGA of Plateau State.

RESEARCH QUESTION

The following are the research questions that will guide the present research work.

1. What is the extent of the Basic Science and Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State?
2. To what extent are teachers of Basic Science and Technology teachers qualified to teach the subject in Jos South LGA of Plateau State?
3. What is the teaching experience of the Basic Science and Technology teachers in Jos South LGA of Plateau State?
4. What is the extent of the availability of resources in the school in Jos South LGA of Plateau State?

METHODOLOGY

The research design adopted in this study was the survey design, specifically, the descriptive survey with the use of questionnaire inventory to aim at assessing the Implementation of Basic Science and Technology curriculum in junior secondary students in Jos South LGA of Plateau State Nigeria. The population of this study comprises of the junior private secondary schools in Jos South LGA. There are 77 Secondary Schools and the student's population in the schools from JSS II is 2,735 with teachers' population of seventy -four (74) (statistics office Jos South zonal directorate of education, Jos South, 2024.

The sample for the study was 10 Junior Schools around Jos South LGA, 100 Basic Science and Technology students and 20 teachers from the different private junior secondary schools in Jos South LGA were used. The researchers used random sampling techniques of balloting to select the respondents.

The research instrument for this study was a questionnaire inventory**.** The questionnaire was structured into two parts, section one (A) solicited for biographical or personal information of respondents, while section two (B) had items on the views of teachers on the implementation of the Basic Science and Technology curriculum in Plateau State. Responses to the items on the questionnaire were on four (4) point Scales of Strongly Agree (SA) 4, Agree (A) 3, Disagree (D) 2, and Strongly Disagree (SD) 1. The respondents were expected to choose one of the options. The procedure for developing the instrument began by outlining the goals of the questionnaire; identifying the targeted audients, content area development, question formulation, conducting pilot testing, questionnaire revision and administration.

After the development of the questionnaire, it was subjected to several stages of scrutiny to ensure that the instrument measured what it was supposed to measure. The items were scrutinized by 3 experts, two (2) in Basic Science and Technology and one (1) in Research Measurement and Evaluation unit. To test for reliability, the researcher conducted a pilot sample test in some Junior Secondary Schools in Jos South Local Government Area of Plateau State. The pilot test involves the administration of the questionnaire to twenty (20) students of Basic Science and Technology and five (5) teachers from private schools to establish its reliability. The test and retest method were used to establish a reliability coefficient, where the same questionnaire was administered twice to the same group of twenty (20) students and five (5) teachers about three weeks interval the resulting test scores was correlated using Cronbach-Alpha to get the reliability coefficient. The researchers obtained a letter of introduction from the department of Science and Technology Education, University of Jos to enabled the researchers to obtain official data needed for the study from the schools under study. The researchers solicited help from research assistance who helped in administering and collecting back the filled questionnaires from the respondents.

The data collected was analyzed to address each research questions. The analysis was conducted using appropriate descriptive statistical tools specifically the simple percentage were utilized to interpret the data and answer research questions.

RESULTS

Answering of Research Questions

Research Question one: What is the extent of the Basic Science and Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State?

Table 1: Mean Scores of Extents of Basic Science and Technology Curriculum Coverage.

S/No.	Statement	N	$\bar{x}$	SD	Decision
1	My Basic science and technology teacher covered the curriculum syllabus with us during our JSS1	100	2.56	0.63	Accepted
2	In my school, only half of the syllabus were covered in our JSS1	100	1.95	0.81	Rejected
3	My Basic science and technology teachers covered the curriculum syllabus with us in JSS2	100	3.24	0.67	Accepted
4	In my school, only half of the syllabus were covered in our JSS2	100	3.10	0.71	Accepted
5	My Basic science and technology teacher will cover the JSS3 curriculum syllabus with us very soon	100	2.18	0.67	Rejected

The results of the analysis from Table1 presents a summary of extent of Basic Science and

Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State? The data on my Basic Science and Technology teacher covered the curriculum syllabus with us during our JSS1was analyzed using mean and standard deviation has a mean score of 2.56 with a standard deviation of 0.63,In my school, only half of the syllabus were covered in our JSS1 has a mean of1.92 with standard of 0.53,My Basic Science and Technology teachers covered the curriculum syllabus with us in JSS2 has a mean score of 2.56 with standard deviation of 0.63, In my school, only half of the syllabus were covered in our JSS2 has a of 3.09 standard 0.82 ,My Basic Science and Technology teacher will cover the JSS3 curriculum syllabus with us very soon has mean of 1.60 with standard deviation of 0.55, indicating that the mean score for each statement is based on the number of respondents who evaluated each issue. The variability in responses indicates more variation in how respondents perceive the issue.

Research Question Two

What is the teaching experience of the Basic Science and Technology teachers in Jos South LGA of Plateau State?

Table 2: Percentage Scores of Teachers based on Year of Experience, Jos South LGA, Plateau State.

Years of Experience	N	FQ	Percentage %
0-7	20	7	35.0
8-12	20	8	40.0
12-18	20	5	25.0

Source: Author's Field Work, 2025.

Table 2 shows the percentages of teachers based on their experience in teaching Basic Science and Technology students in Jos South LGA of Plateau State. From the table, teachers with 0-7, 8-12 and 13-18 years of experience in teaching. From 0-7 years had 7 teachers with 35%, from 8-12 years had 40% and 13-18 had 25%. This indicates that the overall experience of teachers is those of 8-12 years has 40%.

Research Question Three

To what extent are teachers of Basic Science and Technology teachers qualified to teach the subject in Jos South LGA of Plateau State?

Table 3: Percentage Scores of Teachers based on Qualification, Jos South LGA, Plateau State.

Qualification	N	FQ	Percentage %
NCE	20	10	50
BSC. (Ed)	20	7	35
MSC. (Ed)	20	3	15

Source: Author's Field Work, 2024.

Table 3 show the percentages of teachers based on their qualification in Jos South LGA of Plateau State. From the table, NCE has50%, some of the teachers are BSc. (Ed) has 35% and MSc. (Ed)15%.This indicates that most of the teachers are NCE holders and BSc.(Ed).

Research Question Four: What is the extent of the availability of resources in the school in Jos South LGA of Plateau State?

Table 4: Extent of the Availability of Resources in the School in Jos South LGA of Plateau State.

S/No.	Statement	N	$\bar{x}$	SD	Decision
1	My school has a Laboratory.	100	3.10	0.63	Accepted
2	My school have well equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology.	100	1.92	0.69	Rejected

3	My school have required textbooks for the teaching and learning of Basic Science and Technology.	100	2.56	0.55	Accepted
4	My school have multipurpose laboratory for teaching Basic Science and Technology.	100	3.09	0.82	Accepted
5	My school have no equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology.	100	1.60	0.55	Rejected

Source: Author's Field Work, 2025.

The results of the analysis from Table 4 presents a summary of extent of the availability of resources in the School in Jos South LGA of Plateau State. The data on my school has a laboratory has mean of 3.10 with a standard deviation of0.63,my school have well equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology has a mean of 1.9 with standard deviation of 0.53 ,my school have required textbooks for the teaching and learning of Basic Science and Technology has 2.56 with 0.63,my school have multipurpose laboratory for teaching Basic Science and Technology has 3.09 with standard deviation of 0.82, my school have no equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology has a mean score of 1.60 with standard deviation 0.55, indicating that the mean score for each statement is based on the number of respondents who evaluated each issue. The variability in responses indicates more variation in how respondents perceive the issue.

DISCUSSIONS

The results of the analysis from Table 1 presents a summary of extent of Basic Science and Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State? The data on my Basic Science and Technology teachers covered the curriculum syllabus with us during our JSS1, in my school, only half of the syllabus were covered in my school, My Basic Science and Technology teachers covered the curriculum syllabus with us in JSS II, in my school, only half of the syllabus were covered in our JSSII and My Basic Science and Technology teacher will cover the JSSIII curriculum syllabus with us very soon. The result indicated that the mean score for each statement is based on the number of respondents who evaluated each issue. The result further showed the variability in responses indicated that most of the schools do not cover the Basic Science and Technology in JSS I and JSS II. The result disputes the statement made by Kelly (2017), "curriculum is all the learning which is planned and guided by the school, whether it is carried out in groups or individually, inside or outside the school. This is to said there is need for teachers to cover the stipulated curriculum. The result agreed with the study by Ayeni and Amanekwe (2018), that poor curriculum coverage negatively affects students' achievement and effective implementation of educational objectives.

Table 2 shows the percentages of teachers based on their experience in teaching Basic Science and Technology students in Jos South LGA of Plateau State. From the table, it indicated that the overall year of experience of teachers is those from 8-12 years. Table 3 showed the percentages of teachers based on their qualification in Jos South LGA of Plateau State. From the table, it indicated that most of the teachers are NCE holders and BSc. (Ed).

The results of the analysis from Table 4 also presents a summary of extent of the availability of resources in the School in Jos South LGA of Plateau State. The data on my school has a laboratory, my school have well equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology, my school have required textbooks for the teaching and learning of Basic Science and Technology, my school have multipurpose laboratory for teaching Basic Science and Technology, my school have no equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology, the result further indicated that the schools have laboratories but most of them are multipurpose laboratories. The result is not in agreement with the study by Hofstein and Lunetta 2024 who discovered in his study that, separate Basic Science and Technology laboratories are important because they provide students with opportunities for practical activities, experimentation, observation, and development of scientific skills necessary for effective learning.

SUMMARY

The results of the analysis present a summary of extent of Basic Science and Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State? The data on my Basic Science and Technology teacher covered the curriculum syllabus with us during our JSS1,in my school, only half of the syllabus were covered in my school, My Basic Science and Technology teachers covered the curriculum syllabus with us in JSS II, in my school, only half of the syllabus were covered in our JSSII and My Basic Science and Technology teacher will cover the JSSIII curriculum syllabus with us very soon. The result further indicated that most of the schools do not cover the Basic Science and Technology curriculum in JSS I and JSS II. The percentages of teachers based on their experience in teaching Basic Science and that the overall experience of teachers is from 8-12 years, the percentages of teachers based on their qualification in Jos South LGA of Plateau State indicated that most of the teachers are NCE holders and BSc. (Ed) and the results of the analysis also presents a summary of extent of the availability of resources in the School in Jos South LGA of Plateau State. The data on my school has a laboratory, my school have well equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology, my school have required textbooks for the teaching and learning of Basic Science and Technology, my school have multipurpose laboratory for teaching Basic Science and Technology, my school have no equipped laboratory for teaching Basic Science and Technology, the result further indicated that the schools have laboratories but most of them are multipurpose laboratories.

CONCLUSION

The results of the analysis present a summary of extent of Basic Science and Technology curriculum coverage in Jos South LGA of Plateau State? The data on my Basic Science and Technology teacher covered the curriculum syllabus with us during our JSS1,in my school, only half of the syllabus were covered in my school, My Basic Science and Technology teachers covered the curriculum syllabus with us in JSS II, in my school, only half of the syllabus were covered in our JSSII and My Basic Science and Technology teacher will cover the JSSIII curriculum syllabus with us very soon indicated that most of the schools do not cover the Basic Science and Technology curriculum in JSS I and JSS II. The percentages of teachers based on their experience in teaching Basic Science and Technology indicated that from 8-12 years had many teachers, the percentages of teachers based on their qualification in Jos South LGA of Plateau State indicated that most of the teachers are NCE holders and BSc. (Ed) and the results of the analysis on utilization of Basic Science and Technology, laboratory my indicated that the schools have laboratories but most of them are multipurpose laboratories.

RECOMMENDATIONS

1. Advocate for increase in government funding and better resource allocation to address infrastructure and learning materials shortages.
2. Implement regular training and development programs for Basic Science and Technology to improve their skills and effective coverage of curriculum in schools.
3. Enhance communication and collaboration with teachers, parents, and community members to build a supportive educational environment.
4. Ensure strict adherence to educational policies and regulations to standardize practices and improve utilization of laboratory and covering the curriculum.
5. Invest in upgrading school laboratories and resources to create a conducive learning environment.

SUGGESTIONS FOR FURTHER STUDIES

1. Conduct studies on curriculum coverage in public primary schools with those in private schools within the region or other local government areas.
2. Organize specific programs on curriculum coverage and development on the performance of teachers.

3. Explore strategies to enhance curriculum coverage and its impact on school performance and administration.

CONTRIBUTION TO KNOWLEDGE

1. The study may provide curriculum planners and government with detailed information about the actual picture of Basic Science and Technology and other science learning and educational practices in Nigerian schools.
2. The study will provide cost effective ways of improving the coverage of the school curriculum by teachers
3. Meanwhile curriculum planners have not made adequate provision for the use of the existing curriculum as a most to be covered.
4. It will also help the teachers to access and implement Basic Science and Technology curriculum and help educational administrators, government in conjunction with professional associations in organizing workshops, seminars, conferences
5. Teachers should be advised to teach well in order to cover the curriculum.
6. Similarly, the study may be useful for future researchers by forming a basis for further studies on availability of quality of teachers and resource utilization in delivery by Basic Science and Technology teachers.

REFERENCES

Abimbola, I. O. (2013). *The Philosophy and Practice of Science Teachers in Nigeria*. Ilorin: Haytee Press.

Agbo, A. A. (2015). "The Role of Basic Science in Advancing STEM Education in Nigeria." *Journal of Science Education*, 16(2), 12-20.

Ayeni, A. J., & Amanekwe, A. P. (2018). Teachers Instructional Workload and Implication for curriculum coverage in Secondary Schools. *Journal of Educational Research and Review*, 6(5), 45-52.

Federal Republic pf Nigeria (2014). National Policy on Education (6th Edition). Lagos: NERDC Press.

Hofstein, A. & Lunetta V. N (2004). *The Laboratory in Science education*: Foundation for the 21st century science Education, 88 (1), 28-54

Kelly, A. V. (2017). The curriculum: *Theory and practice* (7th ed.). Sage Publications.

Nigerian Educational Research and Development Council (NERDC). (2013). National Curriculum for Senior Secondary Education. Abuja, Nigeria. https://www.nerdc.gov.ng./documents/curricula/

Okebukola, P. (2017). Challenges of Teaching and Learning Basic Science and Technology in Nigerian Junior Secondary Schools. *Journal of Education and Human Development*.

UBEC, (2004). Compulsory, free Universal Basic Education Act. Abuja: Federal Government of Nigeria.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF SOLID STATE FERMENTATION OF SUGARCANE TOPS USING *LACTOBACCILLUS* FOR POTENTIAL POULTRY FEED USE

Ibrahim Aisha Labaran
Aliyu Ibrahim Yaradua
Abdurrahman Fatima
Aliyu Umma Idris
Maryam Halliru Idris
Department of Biochemistry Umaru Musa Yaradua University Katsina Nigeria.

ABSTRACT
This study was conducted to determine the optimum pH and temperature conditions for the solid-state fermentation of sugarcane tops using *lactobacillus* and to evaluate the proximate composition of the fermented material. The study investigated pH levels of 5, 7, 9 and 11, with a moisture content of 60% over six days, while different temperatures were evaluated. The optimization results identified pH7 and atemperature of 30℃ as the optimum condition for the fermentation process. Proximate analysis at pH 7 showed ash, moisture, crude protein, crude fibre, fat and carbohydrate content of 1.87%, 1.14%, 12.83%, 5.34%, 2.99%, and 75.84%, respectively. At temperature of 30℃, the corresponding values were 1.05%, 1.13%, 12.36%, 4.25%, 2.02%, and 79.20%, respectively. These findings establish suitable pH and temperature condition for the solid-state fermentation of sugarcane tops for potential application in poultry feed.
KEYWORDS: solid state fermentation, sugarcane tops, lactobacillus, optimization, poultry feed.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECT OF ROASTING ON THE PHYSICOCHEMICAL, FUNCTIONAL, AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF MELON SEEDS (*CUCUMIS MELO* L.) : FOOD APPLICATION

ARKOUB-DJERMOUNE Lynda
Laboratory of Biomathematics, Biophysics, Biochemistry, and Scientometrics, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Bejaïa, Bejaïa, 06000, Algeria
Department of Process Engineering, Faculty of Technology, University of Bejaïa, Bejaïa, 06000, Algeria
KACI Cilya
Laboratory of Biomathematics, Biophysics, Biochemistry, and Scientometrics, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Bejaïa, Bejaïa, 06000, Algeria
CHEKROUNE Manel
Department of Process Engineering, Faculty of Technology, University of Bejaïa, Bejaïa, 06000, Algeria
CHETTAB Sabrina
Department of Process Engineering, Faculty of Technology, University of Bejaïa, Bejaïa, 06000, Algeria
BENMEZIANE-DERRADJI Farida
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Nature and Life Sciences, Chadli Bendjedid University of El-Tarf, El-Tarf, Algeria

Abstract
The objective of this work is, firstly, to evaluate the impact of roasting on the physicochemical, functional, and antioxidant properties of melon (*Cucumis melo* L.) seeds, and secondly, to develop a stirred yogurt enriched with these seeds (EYURS and EYRS) in order to assess its effect on the overall quality of the product during 21 days of storage at 4°C, compared to a control yogurt (YT). The analyses performed showed that the seeds exhibit interesting physicochemical and functional characteristics, including a near-neutral pH and good water and oil absorption capacity, indicating their suitability for incorporation into fermented dairy products. Furthermore, the results obtained showed that the enriched yogurt formulations exhibited stability within acceptable physicochemical and microbiological standards after 21 days of storage at 4°C. The incorporation of melon seed powder influenced the characteristics of the yogurt, including pH, titratable acidity, total solids content, and antioxidant properties, while maintaining good food safety and satisfactory product stability. Sensory analysis revealed good acceptability of the enriched yogurts, particularly EYRS, which was the most preferred with a rate of 80.56%. The incorporation of the seeds further improved certain organoleptic characteristics, including the color, texture, and aromatic properties of the product. In conclusion, the development of a stirred yogurt enriched with melon seed powder is not only feasible but also represents a promising approach for valorising this plant by-product with high nutritional and functional potential. Its development could contribute to the diversification of dairy products and meet consumer expectations for healthier and more sustainable food.
Keywords: *Cucumis melo* L.; Melon seeds; Stirred yogurt; Quality; Storage; Antioxidant activity.

EXPLORING THE SUSTAINABLE VALORIZATION OF JAMUN SEEDS THROUGH DIFFERENT DRYING TECHNIQUES FOR FUNCTIONAL BAKERY APPLICATIONS

Muskan
Barinderjit Singh
Sahil Chaudhary
Department of Food Science and Technology, I.K. Gujral Punjab Technical University, Kapurthala, Punjab 144603, India

ABSTRACT

The growing demand for sustainable food processing and nutritionally enriched food products has stimulated interest in the utilization of underexploited fruit-processing by-products as potential sources of functional ingredients. Jamun (*Syzygium cumini*) seeds, generally discarded during fruit processing, contain valuable bioactive compounds that offer potential for their incorporation into food formulations. The present study focuses on evaluating the influence of different drying techniques on the physicochemical, functional, and antioxidant properties of jamun seed powder to identify the most suitable processing method for its subsequent application in bakery products.

Freshly extracted jamun seeds will be subjected to three drying treatments, namely hot-air oven drying, vacuum drying, and freeze-drying (lyophilization). The dried samples will be pulverized and analyzed for moisture content, flow characteristics, including angle of repose and Hausner ratio, total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant capacity through DPPH radical-scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays. Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy will also be performed to identify the major functional groups present in the processed seed powders. A comparative evaluation of these parameters will help determine the most appropriate drying technique based on the preservation of bioactive compounds and desirable physicochemical and functional characteristics.

Subsequently, jamun seed powder obtained through the selected drying treatment will be incorporated into pearl millet-based muffin formulations to explore its potential as a functional bakery ingredient. Additionally, khalal-stage dates will be processed into date paste and date powder for their utilization as natural alternatives to refined sugar. The developed muffins will be evaluated for proximate composition, total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, and other relevant physicochemical and quality attributes. The investigation aims to explore the potential of optimally processed jamun seed powder in combination with date-derived sweetening ingredients for developing value-added pearl millet bakery products. This approach may contribute to sustainable by-product utilization, diversification of functional food ingredients, and the development of bakery products with improved nutritional and antioxidant characteristics.

Keywords: Jamun (*Syzygium cumini*); drying techniques; bioactive compounds; antioxidant properties; functional ingredient ; bakery product development.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

IMPROVISED AUTO-ELECTRICITY GENERATION SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE PERFORMANCE OF TECHNICAL COLLEGES STUDENTS IN IMO STATE

ARIMONU, Maxwell O. (Ph.D)
Department of Automobile Technology, Federal College of Education (Technical) Ekiadolor, Benin City, Edo State, Nigeria
AIGBODUWA, Stephen Ayemwenre
Department of Building Technology, Federal College of Education (Technical) Ekiadolor, Benin City, Edo State , Nigeria
ORCID - **0009-0006-7405-0950**

Abstract
This paper sets out to find out the effect of an improvised instructional package for the teaching of auto-electricity generation System on the performance of the students in government technical Colleges in Imo State. Three research questions and three hypotheses were formulated and tested at 0.05 level of Significance. The statistical tools of mean, standard deviation and t-test were used for the data analysis. The design of the study was experimental. The targeted population was all the NTC students of all the technical Colleges offering auto-electricity in Imo state. A total of 150 students were randomly selected from the three accredited technical Colleges which form the sample. The samples were further classified into Control and experimental groups. Both the experimental and Control group were 75 students respectively. Some of the findings of the study revealed that students in the experimental group performed significantly better than those in the control group because of the positive effect of the improvised instructional Package. It was recommended that teachers of auto-electricity should intensify their effort of improvisation during lesson planning and content delivery.
Keywords: *Auto-Electricity, charging System, Improvisation Instructional package, technical College*

Introduction

Within the discipline of automotive engineering, specifically focusing on the Motor Vehicle Mechanics Work (MVMW) trade, auto-electricity constitutes a critical subfield concerned with the electrical systems of vehicles. This specialty addresses electrical faults and maintenance within motor vehicles and is subdivided into four principal areas: the ignition system, charging system, starter motor, and auxiliary electrical components. The present study concentrates on the principles governing the electricity generation system, a subset of the charging system, which encompasses several key topics:

(a) The operational principles of dynamo (DC) and alternator (AC) generators in automotive applications;
(b) Electrical energy storage mechanisms, particularly batteries; (c) the functionality of control boxes or regulators;
(d) Initial battery charging procedures;
(e) The process of acid breakdown to produce electrolyte;
(f) Terminal and cable connections;
(g) The proficient use of relevant tools and adherence to safety protocols; and
(h) The overall charging system framework.

Auto-electricity as a vocational course within the MVMW trade is designed to prepare students for the National Technical Certificate examination, serving as both a foundation for producing skilled craftsmen and a stepping stone for further technical education aimed at fostering sustainable industrial and economic development. The pedagogy of this trade strongly emphasizes experiential learning, involving hands-on activities such as component identification, disassembly, examination, servicing, and reassembly. Furthermore, it requires the adept manipulation of specialized tools and equipment to cultivate essential problem-solving competencies. Consequently, active engagement by both instructors and learners is essential to ensure practical experience, thereby facilitating effective and impactful

learning outcomes (Maxwell, 2019).

Within the domain of technical and vocational education, it is widely acknowledged that the economic development of a nation is heavily reliant on the ability of educational institutions to produce a proficient workforce equipped with the technical skills required by various industries. Nevertheless, a significant challenge persists in many technical colleges, including those in Imo State, where there is a pronounced deficiency in adequate funding and practical training materials essential for effective skill acquisition. Specifically, in the context of auto-electricity education, the availability and efficient utilization of material resources are critical for fostering outcome-based learning and technological competence. Ajetumobi and Basorun (2000) highlighted that Nigeria's technological education sector is undermined by inadequate technological tools, equipment, infrastructural facilities, financial resources, and substandard support services for technology educators. Moreover, a lack of resourcefulness, dedication, and innovation among technical educators exacerbates these challenges. It is imperative that instructors adopt creative strategies, including the improvisation of instructional aids, to mitigate the scarcity of conventional materials. Such improvisation can substantially enhance the instructional delivery of practical lessons by compensating for unavailable resources. This study aims to investigate the prevailing challenges in teaching auto-electricity within technical colleges in Imo State and to propose solutions that emphasize empowering teachers to actively develop and utilize improvised instructional materials to improve the quality of technical education.

Statement of the Problem

In the field of technical and vocational education in Nigeria, a key goal is to provide training and develop essential skills that produce craftsmen, technicians, and other skilled workers who are both entrepreneurial and self-reliant. However, there is a clear lack of interest in technical education in current practices within technical colleges. Although different government levels have, at various times, promoted technical education as a means for economic development, technical colleges currently face a shortage of adequate funding, teaching materials, tools, and equipment necessary for meaningful technical education. Researchers (Bello, 2025; Emeka, 2026) have noted that insufficient funding, inadequate training facilities, lack of equipment, consumable materials, and workshops for practical training and sustainable high-level production have almost made it impossible to realize the objectives of technical education in Nigeria. This situation is a major reason why auto-electricity generation systems are seldom taught in technical colleges. Therefore, providing alternative teaching methods for this trade in most technical colleges remains challenging. This study aims to determine the effect of an improvised instructional package on the performance of Motor Vehicle Mechanics Work (MVMW) students in auto-electricity generation.

Research Questions

1. What are the average pretest scores of the experimental group compared to the control group?
2. What are the average posttest scores of students instructed on the auto-electricity generation system using an improvised instructional package versus those taught through the conventional lecture method?
3. What is the extent of knowledge acquisition by the students as a result of the entire learning process?

Hypotheses

Ho1: There is no statistically significant difference between the pretest mean scores of students in the experimental group and those in the control group.

Ho2: There is no statistically significant difference between the posttest mean scores of students taught the Auto-Electricity Generation System using the improvised instructional package and those taught via the traditional lecture method.

Ho3: There is no statistically significant difference between the pretest and posttest mean scores of

students instructed on the Auto-Electricity Generation System within both the experimental and control groups.

Methodology

The design for this study was a true experimental design using pretest and post-test. The study population consisted of all second-year students (NTC II level) specializing in auto-electricity within the Motor Vehicle Mechanics trade across all technical colleges in Imo State. The total sample comprised 150 students, selected through a simple random sampling technique with replacement, drawing 50 students from each of the three educational zones within Imo State. Within each zone, students were randomly allocated into control and experimental groups, each containing 25 students. Consequently, the experimental and control groups each included 75 students. Data collection instruments included the Improvised Instructional Package (IIP) and the Auto-Electricity Performance Test (AEPT). The IIP comprised several components:

1. A custom-built wooden alternator.
2. An exploded diagram of the alternator illustrating internal components such as the stator, rotor, diode, a partially sectioned battery, and a decommissioned control box.
3. Supplementary materials including a bottle of sulfuric acid, a gallon of distilled water, and hand tools used to assemble the instructional package aimed at teaching the concepts and principles of auto-electricity generation systems.

The control group received instruction via the lecture method, supplemented with charts demonstrating the functions of various components involved in auto-electricity generation. The AEPT consisted of 20 objective questions and five practical items, adapted from past National Board for Technical Education (NBTE) examination papers for the National Technical Certificate (NTC). This test covered conceptual and practical aspects of the electricity generation system as applied in automotive technology. At the conclusion of instruction, students completed all test items. For data analysis, means and standard deviations were computed to address research questions, while the Student's t-test was employed to test hypotheses.

Results

The data collected for the study were analyzed and presented in the order of research questions and the hypotheses which guided this study.

Table 1: The Pretest Results of the Experimental and Control group

Test	N	Mean	SD
Experimental Group	75	23.10	8.10
Control Group	75	23.04	8.05

The posttest means and Standard deviations of the experimental and Control groups is presented in Table 1. Having 150 as the total number of students, the experimental group had a better posttest mean performance of 23.10 and a standard deviation of 8.10. The Control group had a mean performance of 23.04. Students taught with Improvised instructional package performed better in auto-electricity generation Systems than the group of students taught using the lecture method.

Table 2: The Post test Results of the Experimental and Control Groups

Group	N	Mean	SD
Experimental Group	75	66.77	15.41
Control Group	75	45.38	14.62

Table 2 presents the mean and standard deviation of the Post-test of the 150 students in the two groups. The experimental group had a mean of 66.7 and standard deviation of 15.14, and the Control group had a score of 45.38 and standard deviation of 14.62. This implied that as a result of the use of the IIP, the students have generally gained Knowledge from the overall exercise.

Table 3: The Post-test and Pretest Mean and Standard Deviation of Both Groups

Test	N	Mean	SD
Post-test	75	33.11	8.13
Pretest	75	21.73	26.06

Table 4 presents the mean scores and standard deviations for both the pretest and post-test administered to the two groups comprising 150 students. The post-test yielded a mean score of 33.11 with a standard deviation of 8.134, whereas the pretest had a mean of 21.75 and a standard deviation of 26.06. These findings indicate that the implementation of the Interactive Instructional Program (IIP) resulted in a significant improvement in the students' overall knowledge acquisition.

Table 4: Pretest Results of the t-test of the Experimental and Control Groups

Group	N	Mean	SD	df	t-cal.	t-crit.	αLevel
Experimental Group	75	23.07	15.41	148	0.1212	1.960	0.05
Control Group	75	22.84	14.64				

Where: N = Sample size; X = Mean score; SD = Standard deviation; α = Alpha level of significance; t-test = t – calculated; t – crit. = t – critical (t - tabulated)

Table 4 demonstrates that the calculated t-value of 0.1212 is smaller than the critical t-value of 1.960. Consequently, the null hypothesis (Ho1) is retained, indicating that there is no statistically significant difference between the experimental and control groups.

Table 5: Post-test Results of the t-test of the Experimental and Control Group

Group	N	Mean	SD	df	t-cal.	t-crit.	αLevel
Experimental Group	75	66.80	15.41	51.39	9.0001	1.960	0.05
Control Group	75	45.40	15.00				

Ho2 was evaluated utilizing the t-test outcomes outlined in Table 5 above. The observed t-value of 9.0001 exceeded the critical t-value of 1.960 at the 0.05 significance level. Consequently, this finding leads to the rejection of the null hypothesis, suggesting a statistically significant difference between students instructed with the improvised teaching package and those taught via the conventional lecture method.

Table 6: Post-test and Pretest Result of the t-test of all the students

Group	N	Mean	SD	df	t-cal.	t-crit.	αLevel
Experimental Group	75	33.11	8.13	24.98	5.1010	1.960	0.05
Control Group	75	21.73	26.06				

Table 6 presents the outcomes of testing the null hypothesis Ho3. The analysis indicates that the computed t-value of 5.1010 exceeds the critical t-value of 1.960. Consequently, the null hypothesis is rejected, signifying that the experimental treatment led to a significant increase in students' knowledge.

Findings

The principal findings of this educational research are as follows:

1. Students exhibited comparable performance levels in the pretest.
2. The experimental group demonstrated superior outcomes relative to the control group in the post-test.
3. Participants showed an overall acquisition of knowledge through the learning intervention.
4. No statistically significant difference was observed between the experimental and control groups during the pretest.
5. A significant difference emerged between the experimental and control groups post-intervention.
6. The students attained knowledge gains throughout the entirety of the educational activity.

Discussion

This research investigated the comparative academic performance of students in experimental and control groups by analyzing their mean scores in both pretest and post-test assessments, situated within the field of educational measurement and instructional technology. Initially, findings indicated

negligible differences in pretest mean scores between the two cohorts, corroborated by the acceptance of the null hypothesis (Ho1), which asserted no statistically significant discrepancy in baseline academic achievement. This parity established an equitable foundation, assuring that both groups commenced with comparable learning opportunities and competencies, thereby validating their suitability for subsequent intervention comparisons. Subsequent analysis revealed that the experimental group significantly outperformed the control group in the post-test, a result consistent with the alternative hypothesis (Ho2) and indicative of the positive impact of the instructional intervention. The performance enhancement in the experimental cohort was attributed to the implementation of an Improvised Instructional Package (IIP), designed to address deficiencies in available teaching resources. This finding aligns with prior scholarly assertions (Federal Republic of Nigeria, 2014; Enemali, 1998), which advocate for the development and utilization of improvised teaching materials to enhance learners' comprehension. Further supporting this conclusion, Okparaeke (2016) emphasized the imperative of material improvisation to equip students with essential vocational skills, whereas Uvomi (2014) highlighted that engaging students through instructional materials fosters creativity and maintains learner engagement. Collectively, these studies underscore the positive influence of instructional material innovation on knowledge acquisition and academic performance. The present study therefore corroborates the pedagogical significance of improvisation and the strategic deployment of instructional packages, as elaborated by Bello (2010). Instructional delivery adhered rigorously to the standards established for the IIP, effectively compensating for the absence of conventional instructional materials in teaching Auto-electricity Generation Systems. In summation, the evidence affirms that integrating improvised instructional resources substantively enhances student learning outcomes within technical education contexts.

Conclusion

The research findings indicated that there was no significant difference among students in the pretest, as evidenced by the near-identical mean scores, suggesting a uniform learning environment and equal opportunity for learning among the participants. Within the context of vocational education and instructional technology, the study concluded that the Improvised Instructional Package was effective in teaching the auto-electricity generation system. This intervention notably enhanced the academic performance of students enrolled in the MVMW trade. Additionally, analysis of the performance outcomes from both the experimental and control groups demonstrated that students acquired knowledge through the overall instructional process. Therefore, this instructional package is a valid and pertinent resource for teaching the auto-electricity generation system.

Recommendations

Based on the study's results and the derived conclusions, the following recommendations are proposed:

1. The implementation of improvised instructional materials is essential to supplement educational resources that are not readily accessible in schools or colleges.
2. Improvised materials should be utilized in tandem with existing instructional resources within educational institutions to provide complementary support.
3. The incorporation of either commercially prepared or improvised instructional materials during the teaching and learning process is crucial, as these materials facilitate deeper student comprehension and internalization of the content.
4. Such materials serve to concretize lessons, rendering them more tangible and less abstract.

References

Ajetumobi, A.W. & Basorun, O.W (2000). Resource utilization in agricultural science. *A paper Presented at the 41st Annual Conference of the Science Teachers Association of Nigeria Ilorin, Nigeria.*
Bello, J.Y. (2010). Selection and utilization of instructional media for effective practical instruction. *illinois: j.c. stud educ*.

Emeka, C.S. (2026). Strategies for the selection of adequate instructional materials for the teaching of basic Science and technology. *Journal of Technical and Vocational Education Practice 2(1) 25-29.*
Federal Republic of Nigeria (2014). National policy on education. Lagos: NERDC Press.
Maxwell, M.O. (2019). Auto-mechanics skills needed by technical college students for self-employment (Unpublished bachelor's project). *University of Nigeria, Nsukka, Nigeria.*
Okparaeke, G.O. (2016). Vocational technical education and development. In S.I. Ugwuja (Ed.) Vocational technical education and development. *Retrieved from http://www.nigeriantestforum.com/blog/?p=38404*
Uvomi, U.M.O. (2014). Gender issues in science and technology education. Abuja: NERDC Press.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

WATER SCARCITY AND RESOURCE MANAGEMENT UNDER CLIMATE CHANGE IN SEMI-ARID ZONES: EVIDENCE FROM THE MARRAKECH REGION, MOROCCO

Ahmed Osmane
Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry)Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0246-2885
Fatima Bouhlal
laboratory of international and constitutional studies crisis and policy analysis Faculty of legal Economic and social science ,Cadi Ayyad Marrakech Morocco
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-5208-7916

Abstract
This study examines water resource management in the Marrakech region of Morocco within the context of accelerating climate change. The region faces a structural water crisis characterized by a temperature increase of 1 to 1.5°C since the 1960s, a 15–25% decrease in precipitation, and growing demand driven by rapid urbanization and tourism . These pressures have made Marrakech-Safi one of Morocco's most water-stressed areas, threatening its agricultural and economic base.
The research analyzes the multi-pronged adaptation strategy implemented to address these challenges. This strategy includes: major infrastructure investments, such as the innovative perforation of the Al Massira dam to secure drinking water for Marrakech's two million inhabitants and the transfer of desalinated water from Safi ; the construction of a network of large and small dams for water storage, irrigation, and flood protection; the adoption of non-conventional water sources, including seawater desalination and treated wastewater reuse for irrigating urban green spaces ; and a move toward more integrated governance and the application of new technologies like AI and remote sensing for hydrological forecasting and demand management.

.**Keywords:** water ; **mangement ;climate; change** ; wastewater;irrigation; floodprotection.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

TRICKLING FILTER EFFLUENT FOR MILLET IRRIGATION IN ARID NORTH AFRICA: HEALTH AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS

Ahmed Osmane
Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry)Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr
Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0246-2885
Khadija Zidan
National Center for Studies and Research on Water and Energy (CNEREE), Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.
Laboratory of Water, Biodiversity and Climate Change, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3466-2323
Hasnae Sabri
Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Envirenement, Management, Energie et Tourisme Ecole supérieure de Technologie de Essouira Cadi Ayyad University, Essaouira, Morocco
Moustapha Belmouden
Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry)Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr
ORCID ID: https://orcid.org /0000-0002-3083-2620

Abstract
Millets are important crops for dry land farmers. They are highly nutritious and climate compliant crops , millet also known as Bachna (Illane), is one of the four most important cereals (rice, maize, sorghum and millets) grown in the semi-arid tropical regions of the world, mainly in Africa (North of Africa imntanoute marrakech – Morocco) and Asia. Our aim is to topic the potential health benefits of millet. it is rich in a number of nutrients and non-nutrients such as phenols. It is high in energy, contains less starch, lots of fibre (1.2 g/100 g, most of which is insoluble), 8 to 15 times more α-amylase activity than wheat, a low glycaemic index (55) and is glutenfree. The protein content varies from 8 to 19% and millet is low in lysine, tryptophan, threonine and sulphur amino acids. The energy content of millet is higher than that of sorghum and almost equal to that of brown rice, as the fat content is generally higher (3 to 6%). millet can be recommended in the treatment of coeliac disease, constipation and a number of noncommunicable diseases. Nutritional studies on the population living in the millet belts of the world and clinical trials on the impact of millet in specific pathological conditions are needed.An experimental reuse study was performed using raw (RWW) and treated urban wastewater (TWW) by Trickling Filter (TF) process to irrigate millet in comparison to well water (WW) as a control over a period of 5 months the highest productivity of millet and leaf area were obtained in response to irrigation with RWW and TWW compared to WW; while macroelements (TP, TKN, and K) were also affected in millet irrigated with RWW compared to TWW and WW. However, the plants irrigated with well water accumulate more Ca, Na, and Mg than those irrigated with RWW and TWW, the biochemical parameters (protein and sugar content) were adversely affected in millet irrigated with RWW as compared to TWW and WW. Moreover, the use of treated urban wastewater
Keywords: *Millet ; nutritional ,health* , irrigation; treated wastewater reuse; physiological proprieties; Trickling Filter.

REUSING TRICKLING FILTER–TREATED WASTEWATER FOR SORGHUM IRRIGATION IN SEMI-ARID NORTH AFRICA: HEALTH AND FUNCTIONAL IMPLICATIONS

Ahmed Osmane
Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry)Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr
Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.
Khadija Zidan
National Center for Studies and Research on Water and Energy (CNEREE), Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.
Laboratory of Water, Biodiversity and Climate Change, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco
Moustapha Belmouden
Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry)Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0246-2885

Abstract
sorghum one of the most commonly cultivated and consumed cereals throughout the world. Though phytochemicals and antioxidants in the cereal grains have not been studied as in fruits and vegetables, given the role of wheat in our diet plate, it is a given of primary importance to understand the chemistry of our major food of sorghum. The presence of diverse polyphenols and their action against leading cause of death, including heart diseases, cancer, obesity, and diabetes, widens the scope ofsorghum . Phytochemicals such as phenolic acids, alkylresorcinols, flavonoids, phytosterols, and carotenoids are present in whole wheat. The majority of phytochemicals are located in the wheat bran/germ fraction, and they are the leading contributors to the health promoting activities. However, the presence of anti-nutrients and binding of phenolic acids with protein may have adverse effect on health. This review mainly focuses on studies that have been carried out in the past decade to present, emphasizing the importance of and whole sorghum based products in preventing major diseases and disease conditions, potentials threats, current lacks, and future prospects.Deficiencies of micronutrients such as iron, zinc, and vitamin A (“hidden hunger”) afflict over three billion people. Currently there is an increasing preference among consumers for foods that contain not only traditional nutrients but also provide other compounds that are beneficial to health and well-being. Food systems that feed the world must be changed in ways that will insure that balanced nutrient supplies are available continuously to all people in adequate, affordable amounts. This paper reviews about the most important wheat grain components and their nutritional value. The opportunities of plant breeding and other technologies to improve the nutritional quality of sorghum are also discussed.
Keywords: Phytochemicals,sorghum; Polyphenols, Antioxidants, Anti-nutrients fibre, micronutrients, proteins, starch.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ORGANOGELS AS NEXT-GENERATION SELF-ASSEMBLED DRUG DELIVERY SYSTEMS: FORMULATION STRATEGIES, CHARACTERIZATION AND BIOMEDICAL APPLICATIONS IN DERMATOLOGICAL THERAPY

M. R. DHANESH KUMAR
Research Scholar,
Bharath Institute of Higher Education and Research,
Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.
Dr. R. DEVI
Research Supervisor
Orchid Number:0000-0002-6554-6771
Professor, Department of Pharmaceutics, Faculty of Pharmacy,
Bharath Institute of Higher Education and Research,
Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.

ABSTRACT:
Organogels are highlighted for their non-invasive nature, enhancing drug delivery efficacy through improved drug solubility, controlled release, skin penetration, non-greasy formulations and ease of application. The mechanisms of organogel permeation, formulation strategies—including the selection of gelling and co-gelling agents and the influence of temperature and pH—are thoroughly discussed. The article reviews various organogelators, their viscoelasticity, thermal stability, optical clarity and outlines biomedical applications such as targeting skin cancer and delivering anti-inflammatory and antifungal drugs. It addresses characterization parameters, biocompatibility, safety issues and future directions towards optimizing skin permeation, ensuring stability, navigating regulatory challenges and exploring combination therapies. Additionally, the article emphasizes organogels' unique characteristics due to their self-assembled gelator fibers, making them an effective drug delivery system. Recent advancements in techniques have enabled their application across transdermal, oral and parenteral routes. Furthermore, organogels have shown promise in encapsulating sensitive Active Pharmaceutical Ingredients (APIs) and in tissue engineering for cell growth and regeneration. The review underscores the potential of organogels to reshape topical drug delivery, indicating substantial opportunities for innovation in dermatological treatments.
Keywords: Organogel; Topical drug delivery; Transdermal permeation; Organogelators /Self-assembly; Controlled release; Dermatological therapy;

INTRODUCTION

Topical therapy can place a drug close to a cutaneous target while avoiding some of the adherence, systemic exposure, or administration burdens associated with oral and parenteral dosing. Yet a formulation applied to the skin does not necessarily deliver drug to the intended layer. The stratum corneum (SC), the outermost epidermal compartment, is the principal barrier to passive entry for many molecules. Drug properties, vehicle composition, skin site, hydration, disease state, and application conditions all influence whether a compound remains on the surface, accumulates in the epidermis or dermis, or crosses into systemic circulation.[1,2] *Organogels have attracted interest because a liquid organic phase can provide a solvent environment for poorly water-soluble compounds while a gelator network contributes semisolid handling and residence. The label covers materials with markedly different architectures. Some are supramolecular networks formed by low-molecular-weight gelators (LMOGs) through non-covalent association; others use polymeric or particulate networks, or combine gel phases with microemulsions. Lecithin organogels (LOs) and Pluronic–lecithin organogels (PLOs) are prominent in topical literature, although PLO is a hybrid system and is not always classified as a strict organogel.*[3-6]

The central formulation question is not simply whether a gel can be made. It is whether

composition and assembly can reproducibly achieve the desired drug state, release profile, skin-layer distribution, patient-acceptable application, and safety. Enhanced release through a synthetic membrane, increased permeation through excised skin, increased drug retention in a target layer, systemic pharmacokinetics, and clinical improvement are separate outcomes. These endpoints are often discussed together in the literature despite answering different questions.[1,4,7] *This narrative review integrates foundational studies and recent reviews with primary topical-organogel examples. It focuses on formulation logic, the evidence needed to characterize self-assembled networks, and dermatological applications. The emphasis is on evidence maturity: human findings are distinguished from ex vivo, in vitro, and animal work. The review does not claim systematic database coverage or meta-analysis, and it does not treat reports of promising formulations as evidence of clinical superiority.*

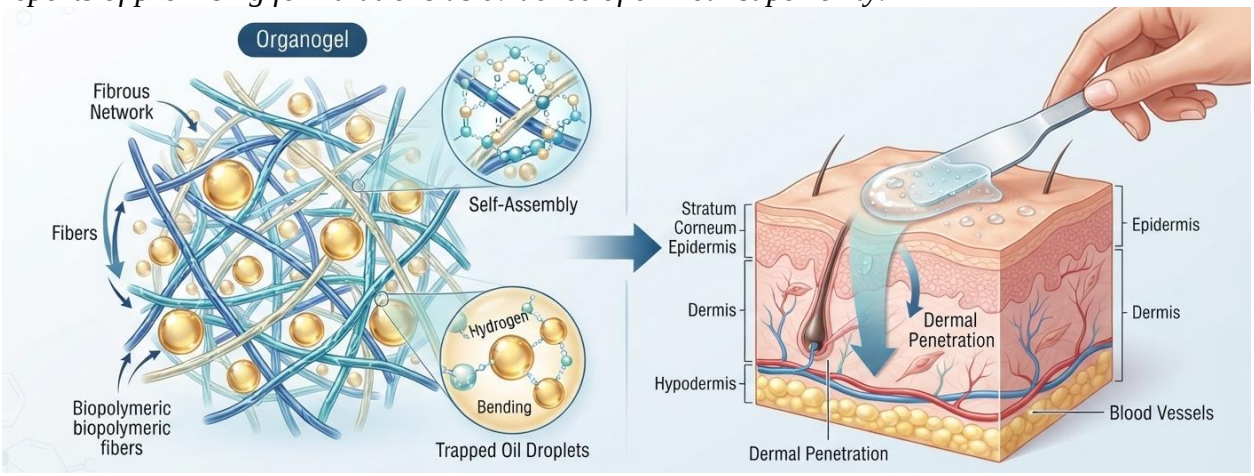


Figure 1. From Molecular Self-Assembly to Dermatological Outcome of Organogel

SCOPE, TERMINOLOGY AND CONCEPTUAL FRAMEWORK

An organogel is generally understood as a semisolid in which an organic liquid is immobilized by a three-dimensional network. In low-molecular-weight supramolecular organogels, the network arises when small gelator molecules assemble into fibers, ribbons, tubules, or related structures that entangle or connect into a sample-spanning network. The material remains liquid-rich; the gelator is often a minor fraction relative to the solvent. Physical gels may be reversible under changes in temperature or solvent conditions, but reversibility is formulation-specific rather than a universal property.[4,8,9]

The term "organogel" is also used more broadly in pharmaceutical formulation for oil-rich gels made with surfactants, phospholipids, polymers, or microemulsion precursors. These systems may not share a molecular assembly mechanism. For clarity, this review uses "supramolecular organogel" for a network principally formed by self-assembly of LMOGs, "lecithin organogel" for phospholipid-based reverse-micellar or related systems, and "PLO" for the hybrid Pluronic F127–lecithin formulations described in topical pharmacology. "Bigel" is used for systems containing interpenetrating or combined aqueous hydrogel and organogel phases. Comparisons among these categories require attention to composition rather than nomenclature alone.[3,5,6,10]

The delivery performance of any one platform emerges from linked but distinguishable levels: molecular interactions determine aggregation; aggregation and processing determine network structure; network structure and phase behavior shape rheology and drug release; the drug and vehicle interact with the skin barrier; and local or systemic exposure contributes to pharmacological effects. A material may perform well at one level and fail at another. Strong gel strength, optical clarity, or high membrane release does not establish optimal cutaneous

delivery or efficacy.[4,8,11]

SELF-ASSEMBLY AND GELATOR CHEMISTRY

(a) Intermolecular interactions and network formation

LMOG assembly is driven by a balance of non-covalent interactions. Hydrogen bonding, aromatic π–π association, electrostatic and dipolar interactions, hydrophobic effects, and dispersion forces can cooperate. Their relative importance depends on the gelator's molecular structure and the surrounding solvent. For example, hydrophobic effects are central to assembly in water, whereas hydrogen bonds and weak electrostatic interactions can contribute more strongly in organic media. Assigning gelation to one interaction based only on microscopy or a single spectrum is therefore not sufficient; stronger mechanistic claims require convergent measurements and controls.[8–9]

Gelation can be viewed as a narrow region between complete solubility and uncontrolled precipitation. The gelator must remain sufficiently compatible with the solvent to disperse, yet associate sufficiently with itself to form elongated structures and junctions. The resulting network must percolate through the sample to immobilize the liquid. This balance depends on solvent polarity and hydrogen-bonding characteristics, gelator concentration, temperature, cooling history, water content, and the presence of co-gelators or drugs. No universal solvent-selection rule predicts gelation across all gelator families.[8–9]

The nanoscale morphology and connectivity of a network are important determinants of macroscopic behavior. Fibers may bundle into ropes or form junction-rich meshes; crystals can coexist with amorphous material; and solvent-rich domains may contribute to transport pathways. The relationship from molecular structure to morphology and then to rheology remains difficult to predict quantitatively. A recent broad review of supramolecular gels emphasizes that even when gelation is known, stiffness and failure behavior are not readily inferred from molecular structure alone.[8]

(b) Major gelator families

Common LMOG families include fatty acids and derivatives, 12-hydroxystearic acid, sorbitan esters, amino-acid or peptide derivatives, urea and bis-amide compounds, steroid-derived gelators, and carbohydrate-based molecules. Hydrogen-bonding motifs and hydrophobic segments often combine to support anisotropic growth. Carbohydrate-derived gelators offer structural diversity and chirality; however, natural or sugar-derived origin does not itself establish skin compatibility, non-irritancy, or pharmaceutical acceptability.[9,12–14]

Lecithin, a mixture of phospholipids, forms structured systems in appropriate organic liquids and in the presence of limited water. The organization of phospholipid headgroups and hydrocarbon chains can generate reverse-micellar or related assemblies. PLO commonly combines a lecithin-containing oil phase with an aqueous Pluronic F127 phase, yielding a spreadable semisolid with composition-dependent viscoelasticity. These materials are attractive for topical use, but their component phases and mechanism differ from a simple crystalline LMOG network.[3,5,6]

Sorbitan monostearate (SMS) in sesame oil provides an example of an oil-based topical organogel. In a reported formulation series, increasing SMS concentration changed crystal dimensions, viscosity, and mechanical properties; the gel displayed shear-thinning behavior and viscoelastic responses. Metronidazole release was diffusion-mediated, and an in vitro antimicrobial assay showed inhibition comparable to a commercial gel under the assay conditions. These findings demonstrate formulation feasibility, not equivalence in skin treatment or human outcomes.[15]

(c) Gelation routes and process history

Typical preparation routes include heating the gelator in the organic phase until dissolved, followed by cooling to induce assembly; solvent exchange or antisolvent approaches; and in situ gelation after application or injection. Lecithin systems may form through mixing and hydration rather than the thermal dissolution–cooling pathway. Process history matters because dissolution temperature, shear, cooling rate, rest time, water fraction, and aging can alter structure and rheology. A formulation should therefore be described with enough process detail to reproduce its network, not only with a list of ingredients.[4,6,11,15]

For topical use, the gelation pathway must also be compatible with active-drug stability, manufacturing equipment, packaging, and application. A high-temperature preparation can degrade thermolabile actives; volatile or irritant solvents may evaporate or create safety concerns; and changing batch scale can alter heat transfer and cooling kinetics. These considerations are translation requirements rather than evidence that any particular organogel process has already been industrially validated.[4,6,16]

FORMULATION STRATEGIES FOR DERMATOLOGICAL DELIVERY

(a) Matching drug, gelator and vehicle

Formulation begins with the intended site and exposure pattern. A treatment for a superficial infection may require drug availability at the epidermal surface, while an anti-inflammatory for a dermal target may require deeper deposition. A transdermal product deliberately seeks passage across the skin; a dermal product may instead seek retention and minimal systemic flux. The same increase in permeation can therefore be beneficial, neutral, or undesirable depending on the therapeutic objective.[1, 2,5]

Drug solubility in the continuous phase is a central design variable. Lipophilic actives may dissolve in oils, while polar compounds may partition into hydrated or surfactant-rich domains. High solubility can aid loading but may reduce thermodynamic activity and slow release; poor solubility can produce a suspension, crystals, or dose nonuniformity. Formulation reports should distinguish molecularly dissolved drug from dispersed solids and report drug content, loading procedure, and any observed crystallization or phase separation. The relationship between solubilization, thermodynamic activity, and release must be tested for the specific drug–vehicle system.[3,4,6]

In lecithin-based systems, researchers commonly screen phospholipid type, nonpolar solvent, water content, surfactant or co-gelator, and drug solubility. Pseudo-ternary phase diagrams can help map composition regions that produce structured gels, but phase maps do not independently prove network structure or skin-delivery benefit. In the 2024 apremilast study, solvent and lecithin selection were informed by gel formation and drug solubility, followed by water-content optimization; the resulting formulation was shear-thinning and evaluated in vitro and in mice.[17]

(b) Release control and skin deposition

A gel network can influence diffusion by changing tortuosity, drug partitioning, viscosity, and the availability of aqueous or oil-rich pathways. Drug may be released through diffusion, matrix erosion, or a combination of mechanisms. Kinetic fits such as zero-order or Korsmeyer–Peppas models are empirical descriptions over defined time ranges; they do not establish a unique physical release mechanism without additional evidence. A dialysis membrane can be useful for screening release but does not reproduce the SC barrier. In flurbiprofen PLO testing, transport through a dialysis membrane exceeded transport through excised rat skin, illustrating the difference directly.[18]

Skin retention can be a more relevant endpoint than maximal receptor-phase flux for local therapy. Ideally, studies quantify the active in the donor residue, SC, viable epidermis, dermis,

and receptor compartment, with validated recovery and mass balance. Tape stripping, skin sectioning, or validated extraction methods can provide layer-resolved estimates. Without these measurements, "enhanced penetration" may obscure whether the drug accumulated at the target, crossed too deeply, or simply remained associated with the vehicle.[1,2]

(c) Rheology and patient-facing properties

Topical gels must remain stable during storage and application but spread under practical shear. Shear-thinning behavior may aid extrusion and spreading, while sufficient low-shear structure can reduce run-off. Yield stress, thixotropic recovery, tack, firmness, sensory feel, and washability may affect dose uniformity and adherence. These are formulation-specific quality attributes; none is a surrogate for clinical usability unless assessed with appropriate user or patient methods.[6,15,17]

The amount and type of gelator can change both mechanics and drug transport. In an SMS–sesame-oil system, increasing gelator concentration increased viscosity and mechanical strength; in other formulations, higher lecithin concentration has also been associated with greater viscosity and reduced drug release. Such findings support optimization rather than a general preference for stronger or weaker gels. An appropriate formulation balances application, stability, release, target-layer delivery, and tolerability.[15,18]

(d) Additives and penetration enhancers

Cosolvents, surfactants, fatty acids, ionic liquids, and other enhancers may increase drug solubility or skin transport. However, increasing SC permeability can involve changes to barrier lipids or other tissue properties. An enhancer that markedly raises flux can also increase irritation, compromise barrier integrity, or produce unintended systemic exposure. Both efficacy and safety therefore require direct characterization of skin effects and barrier recovery after exposure. The enhancer's contribution should be separated from the organogel network wherever feasible using composition-matched controls.[1,16,19]

A recent cyclosporine A (CsA) study combined choline–geranic acid ionic liquid (CAGE) with Pluronic F127 and PEG 400. Free CsA did not permeate intact excised porcine skin over 48 hours under the study conditions, whereas the CAGE-containing organogel increased flux substantially and changed transepidermal water loss and electrical resistance. Rat pharmacokinetic and imiquimod-induced psoriasis-model data were also reported. The authors' findings support proof of concept, but the observed barrier changes make formulation-specific dermal safety, barrier recovery, local-versus-systemic exposure, and human translation central questions.[20]

CHARACTERIZATION: FROM MOLECULAR ASSEMBLY TO PRODUCT PERFORMANCE

(a) Composition, appearance and stability

A basic characterization package should describe exact qualitative and quantitative composition, preparation sequence, drug state, appearance, homogeneity, pH where meaningful, drug assay, and physical and chemical stability. Organogels may appear clear or opaque; clarity alone does not verify homogeneity. Visual inspection should be complemented by testing for phase separation, syneresis, drug crystallization, and changes during storage. Stability conditions and container–closure system should be reported rather than inferred from a short-term laboratory observation.[4,6,15,16]

(b) Molecular and structural measurements

Microscopy can reveal fibers, crystals, droplets, or phase separation, but sample preparation and imaging conditions can perturb soft materials. Polarized-light microscopy can identify birefringent domains; electron microscopy can resolve smaller structures but typically requires drying or other preparation that may alter them. Scattering methods can probe structure in less

disrupted states when available. FTIR, Raman, NMR, circular dichroism, and related spectroscopy may support hypotheses about molecular interactions or chiral assembly. X-ray diffraction and differential scanning calorimetry characterize ordering and thermal transitions. These methods are complementary; no single technique proves a proposed mechanism in isolation.[4,8,15,21]

In SMS–sesame-oil organogels, optical microscopy showed needle-like SMS crystals while X-ray diffraction was interpreted as indicating an amorphous bulk gel. These observations need not be contradictory: different methods probe different length scales and sample features. They also illustrate why authors should specify precisely what is meant by "amorphous," "crystalline," and "network" rather than using these labels as mutually exclusive descriptions.[15]

(c) Thermal and rheological analysis

Thermal analysis can identify sol–gel transitions, melting, crystallization, or drug-related thermal events. The measured transition depends on composition and protocol. Rheology supplies information on the material's response to deformation. Oscillatory amplitude sweeps can identify a linear viscoelastic region; frequency sweeps probe time-dependent response; flow curves characterize shear thinning or thickening; and recovery testing can assess thixotropy. Reporting geometry, gap, temperature, strain, frequency, pre-shear, rest time, and replicate number is necessary for reproducibility.[4,6,15,17]

The storage modulus (G') and loss modulus (G") are often used to describe elastic and viscous contributions. A G' greater than G" over a defined range is consistent with gel-like behavior under those conditions, but should not be treated as a complete structural definition. In situ measurements across temperature or composition can be more informative than a single value. Texture analysis and extrusion testing can complement rheology when application performance is relevant.[4,15,21]

(d) Drug release, permeation and quality by design

In vitro release testing is valuable for comparing batches or assessing formulation changes when the method is discriminatory and appropriately controlled. It should be paired with skin permeation testing if the claim concerns cutaneous delivery. Ex vivo studies should report species, anatomical site, skin preparation, thickness, integrity criteria, diffusion-cell area, receptor medium, sink conditions, temperature, dose, sampling schedule, and analytical validation. Human skin is preferable for translational IVPT when available, though ex vivo flux is still not clinical efficacy and lacks perfusion and patient variability.[1,2]

A quality-by-design approach can define critical material attributes (gelator identity and grade, solvent composition, water content, active concentration) and critical process parameters (mixing, heating, cooling, shear, addition order, and aging). Candidate critical quality attributes include drug assay and uniformity, microstructure or phase behavior, rheological signatures, release and skin-deposition profiles, microbial quality where applicable, and stability. Such a framework is a rational development proposal; the reviewed literature does not establish a single validated set of organogel-specific regulatory limits.[4,6,16]

SKIN BARRIER AND TOPICAL DELIVERY MECHANISMS

The SC comprises keratin-rich corneocytes surrounded by intercellular lipid lamellae, in which ceramides, cholesterol, and free fatty acids are major constituents. This "brick-and-mortar" organization is a functional description of a complex, dynamic barrier. Transepidermal transport can occur through intercellular or transcellular pathways, while follicles and other appendages provide additional routes. Their contribution varies with the drug, vehicle, site, and experimental method. Barrier condition changes in inflammatory disease, wounds, age, or physical irritation can alter uptake and increase variability.[1,2]

Lecithin systems may influence drug partitioning and vehicle–skin interactions; oil-rich vehicles can provide a solvent reservoir, and certain excipients may affect hydration or barrier organization. These mechanisms are plausible and formulation-dependent. The classic lecithin review attributes improved delivery to drug solubility in distinct domains, favorable partitioning, and modification of barrier function, but such explanations should not be applied indiscriminately to every lecithin formulation or active ingredient.[3]

The word "penetration" is often used imprecisely. Release into an aqueous receptor compartment across inert membrane, permeation across excised skin, retention within skin, systemic absorption in animals, and clinical response should be reported separately. A formulation intended for local psoriasis therapy might be preferable if it raises epidermal or dermal concentration while limiting systemic passage. Conversely, a transdermal product may require sufficient passage into the circulation. These different goals mean that maximum flux is not a universal performance criterion.[1,2]

Skin models also differ. Rodent skin is generally not identical to human skin in thickness, appendage density, lipid composition, and barrier behavior. Porcine skin can offer a useful ex vivo model, but remains an experimental model. Human ex vivo studies improve relevance but cannot capture blood flow, metabolism, behavior, long-term adherence, or clinical lesion response. Model selection must be aligned with the claim and the uncertainty being addressed.[1,2,20]

BIOMEDICAL AND DERMATOLOGICAL APPLICATIONS

(a) Anti-inflammatory and analgesic actives

Flurbiprofen PLO formulations have been evaluated as topical anti-inflammatory systems. A study assessed release across a dialysis membrane and excised rat skin, measured viscosity and thermal properties, and tested carrageenan-induced paw edema and skin irritation in animals. Release across dialysis membrane was greater than across rat skin; the selected formulation showed statistically significant anti-inflammatory activity in the animal model and was reported as non-irritant under that study's conditions.[18] *These results are preclinical. They do not establish analgesia or anti-inflammatory benefit in human dermatologic conditions, and the animal irritation test does not substitute for repeated-dose human tolerability.*

Mefenamic acid, aceclofenac, lidocaine, and other actives have also been discussed or evaluated in PLO and organogel formulations. For each, the important question is whether the formulation changes local skin exposure and pharmacology compared with an appropriate, composition-matched vehicle or established topical product. Greater drug flux may be unnecessary or undesirable for a purely local indication. A formulation's delivery advantage should therefore be defined by its intended tissue target and therapeutic index, not by an isolated increase in receptor-compartment concentration.[5,6,22]

(b) Antimicrobial and antifungal systems

Topical antimicrobial organogels seek to retain sufficient active at the skin surface or in infected tissue while maintaining spreadability and stability. SMS–sesame-oil gels containing metronidazole demonstrated controlled release and in vitro inhibition of Escherichia coli *comparable to a commercial gel in the reported assay. This supports antimicrobial activity in vitro but does not establish skin delivery, infection resolution, or clinical equivalence.*[15]

Lecithin organogels containing fluconazole have been evaluated for topical delivery and antifungal activity in laboratory models. Propolis-containing PLO has been studied using ex vivo rat skin and antimicrobial testing. These examples show how an oil-rich or structured vehicle can be used to explore local delivery, but the evidence should be described as formulation-level or preclinical. Claims about wound healing or fungal cure in people require

controlled clinical evidence that cannot be inferred from an agar assay or animal skin permeation test.[23,24]

(c) Atopic dermatitis: a limited human signal

Mady and colleagues formulated silymarin in PLO and conducted a split-site study in 15 patients with atopic dermatitis, aged 1–30 years. Drug-loaded PLO was applied to one side and drug-free PLO to the contralateral side for three months. The authors reported improvement in signs and histology and a statistically significant difference in itching between sides. They also observed improvement on the vehicle-only side in some participants, consistent with the possibility that occlusion, warmth, hydration, or the base itself contributed to response.[25]

This study is important because it moves beyond bench or animal evidence, but it remains small and does not establish comparative effectiveness against standard-of-care active therapy. Split-site designs can control some between-person variation, yet interpretation depends on randomization of sides, blinding, standardized concomitant care, validated outcomes, and adequate sample size. The reported findings should be regarded as preliminary human evidence, not definitive efficacy or proof that PLO is superior to conventional emollients or topical anti-inflammatory agents.[25]

(d) Psoriasis: emerging preclinical studies

Apremilast is an oral phosphodiesterase-4 inhibitor used in psoriasis. A 2024 study developed a lecithin organogel and assessed in vitro *diffusion and skin distribution, then evaluated the formulation in an imiquimod-induced mouse model. The authors reported improved severity index, cytokine levels, and epidermal hyperplasia relative to oral apremilast and a marketed topical gel in that model.*[17] *This is a promising preclinical comparison, but animal dosing, skin biology, and model response cannot substitute for human tolerability, pharmacokinetics, or clinical efficacy.*

A separate 2024 study used a CAGE–Pluronic F127 organogel for CsA. The work included excised porcine-skin permeation, rat pharmacokinetics, and an imiquimod-induced rat psoriasis model. The organogel increased CsA flux and systemic exposure in animals; the authors reported improved erythema, scaling, and skin-thickness outcomes. The intervention also measurably changed barrier indicators in ex vivo *skin. It is therefore especially important to determine whether the desired therapeutic effect arises from local delivery, systemic absorption, barrier disruption, or a combination, and how repeated topical dosing affects safety.*[20]

(d) Other cutaneous and skin-adjacent indications

Organogels have been proposed for local anesthetic delivery, wound-related applications, skin cancer drugs, and other dermal targets. Some review articles also list products or formulations used in anorectal conditions, such as diltiazem-containing PLO for anal fissure. Such use is skin-adjacent rather than direct evidence for common inflammatory dermatoses, and current jurisdiction-specific product status should be verified before describing a formulation as marketed or approved. Across these areas, primary studies vary in route and model, and evidence about a formulation's ability to deliver an active should not be confused with evidence that the active treats disease effectively in patients.[4,6,16]

COMPARISON WITH HYDROGELS, BIGELS AND CONVENTIONAL VEHICLES

No topical vehicle is universally superior. Hydrogels are aqueous, often hydrophilic, and can provide cooling or hydration; ointments and creams have established user familiarity and may offer occlusion or emollience; organogels provide an oil-rich structured phase and may be

useful for poorly water-soluble drugs; bigels combine aqueous and oil-rich domains. Performance depends on drug solubility, thermodynamic activity, partition coefficients, release, rheology, applied dose, target layer, and skin condition.[5,6,10]

A comparative diltiazem study reported that hydrogel and organogel–hydrogel bigels produced greater release and rabbit-skin permeation than the tested organogels; animal pharmacological responses also differed among formulations. This is a useful reminder that a structured oil phase does not guarantee greater delivery. The ranking was specific to the drug, composition, and models used, so it should not be generalized across active ingredients or clinical indications.[10]

Comparisons should use matched drug dose, assay conditions, application amount, and clinically relevant reference products. Where possible, a factorial design can isolate the effects of the gelator, solvent, and enhancer. A minimum comparison set might include the active in the candidate organogel, the same active in a matched vehicle lacking the gelator, a conventional marketed formulation, and a blank organogel. Such comparisons help distinguish drug effects from vehicle hydration, occlusion, or barrier modulation.[1,6]

SAFETY, TOLERABILITY AND TRANSLATIONAL CHALLENGES

(a) Formulation-specific safety

"Biocompatible" is not a class-wide property. The gelator, organic solvent, oil, surfactant, enhancer, active drug, impurity profile, dose, duration, and route all matter. Findings from subcutaneous implant studies cannot establish dermal tolerability. Similarly, an acute animal irritation test does not determine sensitization risk, chronic exposure, phototoxicity, or safety on inflamed or eroded skin. These endpoints require formulation-specific evaluation.[4,11,16,26]

Penetration enhancement creates a direct safety trade-off. Barrier disruption can raise drug delivery but also alter transepidermal water loss, electrical resistance, irritancy, and susceptibility to external exposures. Studies with enhancers should measure changes in barrier function and recovery after treatment, and should evaluate systemic exposure where the active or enhancer warrants it. The CAGE–CsA study's observed barrier-property changes are a clear example of why delivery and safety cannot be separated.[1,20]

(b) Stability, scale-up and quality control

Physical stability must encompass phase behavior, drug crystallization, rheology, and reproducibility after manufacturing and storage. Chemical stability must address degradation of the active and excipients. Package compatibility, solvent loss, temperature excursions, and microbial control may be relevant depending on composition and intended use. A formulation that remains stable for a short laboratory study is not yet a shelf-life-qualified product.[4,6,15]

Scale-up can change heating and cooling rates, mixing energy, shear history, and mass transfer. Because self-assembly is sensitive to composition and process history, pilot batches should be compared with laboratory batches using structurally and functionally relevant attributes. For sterile or injectable applications, sterilization may disrupt the network or degrade the active; for topical systems, aseptic requirements depend on intended use and applicable product standards. These are foreseeable development questions, not resolved attributes of the class.[4,11,16]

Regulatory requirements depend on jurisdiction, route, active ingredient, intended claims, and whether the product is regulated as a drug, device, cosmetic, or combination. The literature reviewed here does not establish a single organogel-specific regulatory pathway. Developers must justify excipient use, impurities and residual solvents, manufacturing controls, stability, dose uniformity, performance, and safety according to the applicable product framework.

Existing familiarity with an oil or surfactant does not establish its acceptability at every concentration, route, or exposure duration.[4,6,16]

RECOMMENDED DEVELOPMENT AND REPORTING FRAMEWORK

A practical development sequence should begin with a target product profile. Define whether the goal is surface retention, epidermal or dermal deposition, or transdermal delivery; identify the disease population and relevant skin condition; specify acceptable sensory and application properties; and set a comparator that reflects current treatment. This prevents a common error in which maximal flux is optimized despite a local target or without considering irritation and systemic exposure.

Early formulation screening should map gelation across gelator, solvent, water, and co-gelator composition while measuring drug solubility and physical state. Process parameters should be recorded, including temperature, shear, order of addition, cooling, rest, and aging. The selected candidate should then undergo orthogonal structure and rheology tests, drug-content uniformity, release, and stability assessment. If the proposed advantage is cutaneous delivery, ex vivo *skin studies should follow with integrity checks and a mass-balance strategy.*[4,8,15,17]

Before clinical testing, the candidate should demonstrate reproducible manufacture, acceptable local tolerance, and a favorable exposure profile in models appropriate to the intended use. For local therapy, quantify target-layer concentration and systemic exposure rather than relying only on receptor flux. For enhancer-containing systems, evaluate barrier recovery and repeated-dose tolerability. Clinical development should compare against an active standard or a clinically relevant vehicle, use validated disease outcomes, and measure patient-reported acceptability. The evidence from the silymarin split-site study can inform hypotheses but does not obviate these steps.[1,16,20,25]

A minimum reporting set should include: complete composition and material grades; preparation and storage history; gelation criterion and temperature; drug loading and solid state; microscopy or other structural data with method limitations; thermal and rheological methods with instrument settings; drug assay and content uniformity; release method; skin source and integrity criteria; applied dose and receptor conditions; layer-specific drug recovery when possible; barrier and irritation measures; statistical plan and replicate numbers; and stability interval. Harmonized reporting would improve reproducibility and permit more meaningful comparisons between gelator classes.[1,4,6,15]

RESEARCH PRIORITIES

First, mechanistic studies should link molecular structure and solvent parameters to assembly kinetics, network architecture, and delivery performance. Current understanding recognizes the importance of solvent–gelator balance and nanoscale assembly, yet predictive connections to rheology and drug transport remain incomplete.[8,9]

Second, comparative topical testing should move beyond release assays. Human-skin IVPT with validated integrity criteria, depth-resolved drug recovery, and clinically relevant comparators can clarify whether a formulation improves target-layer delivery without excessive transdermal passage. Results should be reported with full protocol information to enable replication and cross-study interpretation.

Third, safety programs should examine repeated exposure, sensitization, barrier recovery, diseased-skin tolerability, and systemic exposure for enhancer-rich systems. Safety should be evaluated for the finished formulation, because the combined effect of components may differ from that of individual ingredients. Longitudinal clinical evaluation is essential before claims of chronic suitability.[16,20]

Fourth, development needs evidence on stability, scale-up, batch comparability, packaging, and user acceptability. A structured gel with favorable laboratory rheology may still fail due

to phase separation, loss of solvent, poor dosing reproducibility, or unacceptable sensory properties. Translation requires product-level controls, not only discovery-level material characterization.[4,6,16]

Finally, disease-focused trials should be designed around therapeutic target and standard of care. The small human atopic-dermatitis study and animal psoriasis models identify hypotheses and candidate formulations, but they do not answer whether organogels improve remission, reduce rescue medication, lower systemic exposure, or improve adherence compared with established treatment. These questions need adequately powered clinical studies with transparent reporting.[17,20,25]

CONCLUSIONS

Organogels provide a versatile materials platform in which liquid-rich phases are structured by self-assembled or otherwise organized networks. Their properties can be tuned through gelator chemistry, solvent, concentration, water content, process history, and additives. In dermatological delivery, lecithin/PLO and oil–gelator systems have demonstrated the ability to incorporate diverse actives and influence release, skin permeation, or animal pharmacology. The range of compositions also means that "organogel" does not specify a single architecture or predictable delivery outcome.

The current evidence supports promise, not class-wide clinical superiority. Most findings are in vitro, ex vivo, or animal-based; the small silymarin–PLO study in atopic dermatitis is preliminary human evidence. Formulation decisions should distinguish release from skin penetration, skin retention, systemic exposure, and clinical benefit. An organogel should be advanced only when its target-specific performance, safety, manufacturing reproducibility, and patient acceptability are demonstrated against relevant comparators. Standardized human-skin testing and controlled clinical trials are needed to determine where self-assembled organogels offer a meaningful advantage in dermatological therapy.

FUNDING

No external funding was received for preparation of this manuscript.

CONFLICTS OF INTEREST

The author declares no conflicts of interest.

REFERENCES

1. *Gorzelanny, C.; Mess, C.; Schneider, S.W.; Huck, V.; Brandner, J.M. Skin Barriers in Dermal Drug Delivery: Which Barriers Have to Be Overcome and How Can We Measure Them?* Pharmaceutics *2020*, 12, *684. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12070684.*
2. *Brito, S.; et al. Skin Structure, Physiology, and Pathology in Topical Drug Delivery.* Pharmaceutics *2024*, 16, *1403. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16111403.*
3. *Kumar, R.; Katare, O.P. Lecithin Organogels as a Potential Phospholipid-Structured System for Topical Drug Delivery: A Review.* AAPS PharmSciTech *2005*, 6, *E298–E310. https://doi.org/10.1208/pt060240.*
4. *Esposito, C.L.; Kirilov, P.; Roullin, V.G. Organogels, Promising Drug Delivery Systems: An Update of State-of-the-Art and Recent Applications.* J. Control. Release *2018*, 271, *1–20. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.12.019.*
5. *Almeida, H.; Amaral, M.H.; Lobão, P.; Lobo, J.M.S. Pluronic® F-127 and Pluronic Lecithin Organogel (PLO): Main Features and Their Applications in Topical and Transdermal Administration of Drugs.* J. Pharm. Pharm. Sci. *2012*, 15, *592–605. https://doi.org/10.18433/J3HW2B.*

6. Raut, S.; Azheruddin, M.; Kumar, R.; Singh, S.; Giram, P.S.; Datta, D. Lecithin Organogel: A Promising Carrier for the Treatment of Skin Diseases. ACS Omega *2024,* 9, *9865–9885. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05563.*

7. Pradal, J.; Vallet, C.M.; Frappin, G.; Bariguian, F.; Lombardi, M.S. Importance of the Formulation in the Skin Delivery of Topical Diclofenac: Not All Topical Diclofenac Formulations Are the Same. J. Pain Res. *2019,* 12, *1149–1154. https://doi.org/10.2147/JPR.S191300.*

8. Smith, D.K. Supramolecular Gels—A Panorama of Low-Molecular-Weight Gelators from Ancient Origins to Next-Generation Technologies. Soft Matter *2024,* 20, *10–70. https://doi.org/10.1039/D3SM01301D.*

9. Vintiloiu, A.; Leroux, J.C. Organogels and Their Use in Drug Delivery—A Review. J. Control. Release *2008,* 125, *179–192. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2007.09.014.*

10. Ibrahim, M.M.; Hafez, S.A.; Mahdy, M.M. Organogels, Hydrogels and Bigels as Transdermal Delivery Systems for Diltiazem Hydrochloride. Asian J. Pharm. Sci. *2013,* 8, *48–57. https://doi.org/10.1016/j.ajps.2013.07.006.*

11. Murdan, S. Organogels in Drug Delivery. Expert Opin. Drug Deliv. *2005,* 2, *489–505. https://doi.org/10.1517/17425247.2.3.489.*

12. Basu, N.; Chakraborty, A.; Ghosh, R. Carbohydrate Derived Organogelators and the Corresponding Functional Gels Developed in Recent Time. Gels *2018,* 4, *52. https://doi.org/10.3390/gels4020052.*

13. Motulsky, A.; Lafleur, M.; Couffin-Hoarau, A.C.; Hoarau, D.; Boury, F.; Benoit, J.P.; Leroux, J.C. Characterization and Biocompatibility of Organogels Based on L-Alanine for Parenteral Drug Delivery Implants. Biomaterials *2005,* 26, *6242–6253. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.04.004.*

14. Li, Z.; Cao, J.; Li, H.; Liu, H.; Han, F.; Liu, Z.; Tong, C.; Li, S. Self-Assembled Drug Delivery System Based on Low-Molecular-Weight Bis-Amide Organogelator: Synthesis, Properties and in Vivo Evaluation. Drug Deliv. *2016,* 23, *3168–3178. https://doi.org/10.3109/10717544.2016.1157841.*

15. Singh, V.K.; Pramanik, K.; Ray, S.S.; Pal, K. Development and Characterization of Sorbitan Monostearate and Sesame Oil-Based Organogels for Topical Delivery of Antimicrobials. AAPS PharmSciTech *2015,* 16, *293–305. https://doi.org/10.1208/s12249-014-0223-7.*

16. Nikam, A.N.; Roy, A.; Raychaudhuri, R.; Navti, P.D.; Soman, S.; Kulkarni, S.; Shirur, K.S.; Pandey, A.; Mutalik, S. Organogels: "GelVolution" in Topical Drug Delivery—Present and Beyond. Curr. Pharm. Des. *2024,* 30, *489–518. https://doi.org/10.2174/0113816128279479231231092905.*

17. Bule, P.; Kadkanje, P.; Kshirsagar, R.; Puppala, E.R.; Naidu, V.G.M.; Chella, N. Formulation Characterization of Lecithin Organogel as Topical Drug Delivery System for Psoriasis: In Vitro Permeation and Preclinical Evaluation. Drug Dev. Res. *2024,* 85, *e22191. https://doi.org/10.1002/ddr.22191.*

18. Pandey, M.; Belgamwar, V.; Gattani, S.; Surana, S.; Tekade, A. Pluronic Lecithin Organogel as a Topical Drug Delivery System. Drug Deliv. *2010,* 17, *38–47. https://doi.org/10.3109/10717540903508961.*

19. Navti, P.D.; Pandey, A.; Nikam, A.N.; Padya, B.S.; Kalthur, G.; Koteshwara, K.B.; Mutalik, S. Ionic Liquids Assisted Topical Drug Delivery for Permeation Enhancement: Formulation Strategies, Biomedical Applications, and Toxicological Perspective. AAPS PharmSciTech *2022,* 23, *161. https://doi.org/10.1208/s12249-022-02313-w.*

20. Datta, D.; Bandi, S.P.; Venuganti, V.V.K. Ionic Liquid-Mediated Transdermal Delivery of Organogel Containing Cyclosporine A for the Effective Treatment of Psoriasis. ACS Omega *2024*, 9, *41565–41582. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c05346.*

21. Sanches, S.C.C.; Ré, M.I.; Silva-Júnior, J.O.C.; Ribeiro-Costa, R.M. Organogel of Açaí Oil in Cosmetics: Microstructure, Stability, Rheology and Mechanical Properties. Gels *2023*, 9, *150. https://doi.org/10.3390/gels9020150.*

22. Pandey, M.S.; Belgamwar, V.S.; Surana, S.J. Topical Delivery of Flurbiprofen from Pluronic Lecithin Organogel. Indian J. Pharm. Sci. *2009*, 71, *87–90. https://doi.org/10.4103/0250-474X.51955.*

23. Jadhav, K.R.; Kadam, V.J.; Pisal, S.S. Formulation and Evaluation of Lecithin Organogel for Topical Delivery of Fluconazole. Curr. Drug Deliv. *2009*, 6, *174–183. https://doi.org/10.2174/156720109787846252.*

24. Balata, G.; El Nahas, H.; Radwan, S. Propolis Organogel as a Novel Topical Delivery System for Treating Wounds. Drug Deliv. *2014*, 21, *55–61. https://doi.org/10.3109/10717544.2013.847032.*

25. Mady, F.M.; Essa, H.; El-Ammawi, T.; Abdelkader, H.; Hussein, A.K. Formulation and Clinical Evaluation of Silymarin Pluronic-Lecithin Organogels for Treatment of Atopic Dermatitis. Drug Des. Devel. Ther. *2016*, 10, *1101–1110. https://doi.org/10.2147/DDDT.S103423.*

26. Wang, K.; Jia, Q.; Han, F.; Liu, H.; Li, S. Self-Assembled L-Alanine Derivative Organogel as in Situ Drug Delivery Implant: Characterization, Biodegradability, and Biocompatibility. Drug Dev. Ind. Pharm. *2010*, 36, *1511–1521. https://doi.org/10.3109/03639045.2010.488694.*

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECT OF THREE SEQUENTIAL INSTRUCTIONAL TECHNIQUE ON SENIOR SECONDARY TWO STUDENTS'ACHIEVEMENT IN CHEMISTRY IN JOS NORTH, PLATEAU STATE, NIGERIA

BOLA OLADELE

The research was on the effect of three sequential instructional technique on Senior Secondary two Students' achievement in Chemistry in Jos North, Plateau State, Nigeria. The moderating effect of gender was also examined, both gender gained in the use of sequential instructional techniques in the study. Sequential instructional technique is a method of teaching which involves the use of other teaching methods alongside lecture method in different order, to enhance SS2 students' mastery on electrolysis in Chemistry. The study adopted the quasi-experimental design specifically the non-equivalent pre-test, post-test, experimental group. Three Senior Secondary Schools were selected as sample using simple random sampling technique. Intact classes were maintained in all sampled schools. A total sample of 136 Senior Secondary two students comprising of 62 females and 74 males were engaged in the study. Three research questions and three hypotheses were formulated. Electrolysis Achievement Test (EAT) was developed by the researcher and was used for data collection. The instruments was validated by three experts and reliability coefficient of the instruments was estimated to be 0.75 using split-half method. Achievement is the learning outcome or attainment of students taught electrolysis using sequential instructional techniques. The three research questions were answered using descriptive statistics of mean and standard deviation, while the hypotheses were tested at 0.05 level of significance using Analysis of Covariance (ANCOVA) for related sample. The findings of the study revealed that sequential instructional technique, when efficiently used in instruction, could enhance Senior Secondary two Students' achievement in Chemistry. The study also revealed the equivalence of the three groups used for the study Lecture (L), Discussion (D), Problem-Solving (P) i.e (LDP, DPL,PLD). The study recommended amongst others that workshops, conferences and seminars should be organised by Ministry of Education and other school administrators on the need for sequential instructional technique in the teaching of electrolysis in order to enhance students' achievement in Chemistry. Also Chemistry teacher's should be trained on the use of sequential instructional techniques and serving teachers should employ the use of sequential instructional technique in teaching to enhance students' achievement in Electrolysis. Schools should provide facilities/ equipment which are necessary for effective implementation of Sequential instructional Techniques. This is important because Chemistry is best taught in well equipped laboratories and students learn the subject with much ease if taught using a sequence of methods.

HERBAL NANOMEDICINE FOR ALZHEIMER'S DISEASE: PHYTOCHEMICAL MECHANISMS AND ADVANCES IN BRAIN-TARGETED DRUG DELIVERY

Dr Lavanya Babu
Hari Nandhini. A
Meenatchi. S
Swathi. R
Devadharshini. R
Dinesh Rajan .K
Gowtham. V
Gomathi.E
Bharath Institute of Higher Education And Education Chennai, india

Abstract:
Alzheimer's disease is a progressive neurodegenerative disorder characterized by memory loss, cognitive decline, and neuronal damage. The development of effective treatments remains challenging because of the complex disease mechanisms and the li neuroprotective mited ability of many drugs to cross the blood-brain barrier (BBB). Herbal medicines have gained increasing attention due to their potential and antioxidant properties. Several plant-derived bioactive compounds, including curcumin from Curcuma longa, backsides' from Bacopa monnieri, and ginkgolides from Ginkgo biloba, have demonstrated promising pharmacological activities in experimental studies. These phytochemicals may help reduce oxidative stress, neuroinflammation, and amyloid-beta accumulation, which are associated with Alzheimer's disease progression. However, their therapeutic application is limited by poor solubility, low bioavailability, and inadequate delivery to the brain. Nanotechnology-based drug delivery systems, including liposomes, solid lipid nanoparticles, and polymeric nanoparticles, offer potential strategies to improve drug stability, bioavailability, and targeted brain delivery. This review highlights the pharmacological mechanisms of herbal phytochemicals, recent advances in nanocarrier-based formulations, and their potential role in overcoming blood-brain barrier limitations. It also discusses existing research gaps, safety concerns, and challenges in clinical translation. Further experimental and clinical investigations are required to establish their therapeutic effectiveness and long-term safety in Alzheimer's disease management.

Key Words:
Alzheimer's disease, Herbal medicine, Nanomedicine, Neuroprotection, Targeted drug delivery.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

LITERATURE

Aishwarya S
Department of EEE, R.M.K. Engineering College, Thiruvallur, India

Abstract
Literature is the longest form of communication humankind has ever used. It provides a way for people to make sense of life, love, loss, and wonder through the various forms of media such as epic oral pieces and novels. This abstract discusses how literature can be seen as a living record of the human experience. Literature can provide an insight into the feelings that cannot be easily quantified by statistics and time. Whether it be through poetry, prose, or drama, authors can express how they feel about memories, rebellion, and the simple joys of everyday life. Literature helps shape how societies view themselves, can challenge commonly held views, and gives a voice to those who may not be heard throughout history. Literature can help develop empathy within individuals. This study will look at different genres, styles, and cultures of literature. Including classical, postcolonial, and modern. Looking at how meaning can be created through using language, structure and context. Overall, literature is a very personal and universal art. It can provide comfort, unease, and inspiration.
Keywords Poetry, Empathy, Meaning, Language, Literature, Postcolonial.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DETERMINANTS OF CONSUMER TRUST IN DIGITAL BANKING SECURITY: EVIDENCE FROM MOBILE BANKING USERS IN ALBANIA

Prof. Dr. Alma BRAIMLLARI
University of Tirana, Faculty of Economy, Department of Statistics and Applied Informatics, Tirana, Albania
ORCID ID: 0000-0003-3162-8987
Ersilda LLAKA
University of Tirana, Faculty of Economy, Department of Statistics and Applied Informatics, Tirana, Albania
ORCID ID: 0009-0001-6450-2451

ABSTRACT
Digital banking serves as a vital enabler of financial inclusion, directly aligning with the United Nations Sustainable Development Goals. In Albania, where digital technology is available, the main challenge is trust in digital banking services. This study investigates the determinants of high trust in the security of digital banking services among users of mobile banking applications in Albania. Trust acts as a bridge between technology infrastructure and financial inclusion and, through it, connects to goals like sustainable development. Using data collected through a survey of 180 respondents in Albania, descriptive statistics, bivariate analysis using chi-square tests of independence and two binary logistic regression models were performed. Roughly one-third of the respondents reported high trust in digital banking security, while half rated their mobile banking applications as high. The results of bivariate analysis showed that high trust in digital banking security is related to perceived mobile banking application quality, fraud experience, young age, and employment status; whereas usage frequency and digital experience were not significantly related to trust. Perceived application quality and fraud experience remained statistically significant in both logistic regression models, while employment status was marginally significant in the second model. For banks, improving the quality of applications is a good strategy to build trust and then drive the sustainable adoption of digital banking and financial inclusion. For regulators pursuing the “Cashless Albania” agenda, trust-building should focus more on product experience rather than on targeting specific groups. By connecting micro-level determinants of trust to macro-level goals of sustainable finance, the study gives evidence for policymakers, financial institutions and the sustainable development agenda in emerging digital markets.
Keywords: mobile banking applications, perceived application quality, fraud experience index, financial inclusion, binary logistic regression, Albania.

1. INTRODUCTION
Digital banking has transformed modern financial systems by driving economic growth, reducing transaction costs, and expanding financial access. However, digital platforms adoption remains fundamentally constrained by security concerns (Diallo et al., 2024; Karabadji, 2026). As consumers rely heavily on digital banking, building customer trust in the security features of digital platform becomes critical (Elias, 2022). This trust depends on transaction safety and robust data protection (Budianto, 2026), requiring visible security technologies like advanced encryption, biometric login, and multi-factor authentication. Once established, trust in security drives regulatory evolution (Choudhuri et al., 2024) and technological innovation while advancing sustainable financial inclusion and digital sustainability (Kraciuk et al., 2026).
Crucially, trust in digital banking security represents a distinct, critical sub-dimension of general bank trust. It specifically reflects a user's psychological confidence in a platform's technical capability to protect money and private data from cyber threats and fraud. Isolating security-focused trust as a primary dependent variable, rather than treating security merely as an antecedent within TAM or UTAUT models, is essential to understanding platform adoption and preventing user abandonment. Existing literature demonstrates that this specific trust outcome is shaped by application quality, privacy transparency, regulatory standards (e.g., GDPR, PSD2), digital experience, and past fraud exposure, with these relationships moderated by user demographics (Choudhuri et al., 2024; Riasat et al., 2025).

In recent years, Albania's banking sector has undergone rapid digital modernization, shifting from a cash-dominated economy toward electronic financial systems (Molishti & Topalli, 2026). Driven by Central Bank of Albania regulatory initiatives such as instant payment systems, open banking frameworks, and alignment with EU standards, commercial banks have rapidly expanded their digital infrastructure. However, empirical literature highlights a clear divide between strong supply-side advancement and limited demand-side readiness. Despite growth in electronic payments and mobile banking adoption, consumer transition remains constrained by low financial literacy, cybersecurity concerns, regulatory uncertainty, and infrastructural gaps (Tahiri & Numani, 2022; Kolleshi & Golemi, 2024; Ilollari & Kociaj, 2025). This disconnect demonstrates that technical availability alone cannot drive adoption without addressing user risk perceptions and security concerns. Consequently, Albania offers a compelling emerging-market context to examine how system/platform quality, regulatory standards, and fraud exposure shape consumer trust in digital banking security in an emerging digital economy.

The purpose of this study is to identify the factors influencing the customer trust in the security of mobile banking applications in Albania. The specific research questions of this research are:

1. What is the overall level of consumer trust in mobile banking security?
2. Which perceptual, experiential, and behavioral factors influence consumer trust in security?
3. How do socio-demographic characteristics impact consumer trust in security?

This study contributes to the digital banking literature by identifying the factors shaping customer trust in mobile banking security within an emerging digital market context. Moreover, this study provides banks with practical insights to help banks design more secure, user-friendly applications, while offering policymakers practical data to improve financial education and user digital security.

The research work is organized as follows: Section 2 details the material and methods, including research design, sampling, operationalization of variables and statistical data analysis. Section 3 presents the empirical results and discussion. Section 4 outlines the conclusions, recommendations, limitations and directions for future research.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Research design, sample and data collection

The target population of this study consisted of mobile banking users. The data were collected using a self-administered questionnaire, distributed through digital channels, from May 5 to June 6, 2026. Non-probability convenience sampling was used to gather the data and were obtained 180 valid responses. The questionnaire was organized into three modules: Module 1 (socio-demographics & general usage) captured respondent baseline characteristics (age group, gender, educational level, and employment), primary transaction types, and perceived barriers to mobile banking use. Module 2 (behavioral screening) captured application familiarity: application experience (in years), and frequency of use during the last three months. Module 3 (perceptual and experiential drivers) included overall mobile application quality and level of trust in mobile banking security using a 5-point Likert scale ranging from "very poor/not at all" to "excellent/full trust", whereas past fraud exposure was measured through a binary scale (yes/no) for direct personal incidents and indirect fraud occurrences involving family and friends.

2.2. Operationalization of variables

To conduct data analysis, survey responses were numerically coded and/or recoded into binary variables for the bivariate analysis and binary logistic regression modeling. *Trust in security* was measured on a 5-point scale ranging from 1 (not at all) to 5 (full trust). To evaluate *high trust in security*, responses were recoded into a binary variable where a trust score of 4 or 5 represents high trust, coded as 1, and scores from 1 to 3 represent not high trust, coded as 0. *Perceived mobile application quality* was evaluated on a 5-point scale ranging from 1 (very poor) to 5 (excellent) and was not recoded. *Fraud Exposure Index* was operationalized as a binary variable where a value of 1 indicates exposure and 0 indicates no exposure, combining direct personal fraud experience with indirect exposure through family or friends to maximize statistical power. *Mobile application experience* was coded as a binary variable separating long-term users, coded as 1 for 2 or more years of usage, from short-term users, coded as 0

for less than 2 years. *Usage frequency* was operationalized as a binary variable capturing active users, coded as 1 for daily or several times a week, versus casual users, coded as 0 for less frequent usage. Socio-demographic controls were also coded as binary variables. *Young age* isolated young adults, coded as 1 for respondents aged 18 to 24, from older cohorts, coded as 0 for respondents aged 25 and above. *Employment status* compared active workforce participants, coded as 1 for individuals employed in the public sector, private sector, or self-employed, against non-employed participants, coded as 0 for students or unemployed users.

2.3. Statistical data analysis

Data analysis was performed using STATA software, and consisted of: descriptive statistics, bivariate tests of independence, and binary logistic regression modeling. First, descriptive statistics were calculated for all variables in the study. Second, bivariate analysis was conducted to assess initial relationships between the target variables. Cross-tabulations with Pearson's chi-square test of independence were evaluated across high trust in security, the fraud experience index, usage frequency, mobile application experience, mobile application quality, young age, and employment status. Third, two binary logistic regression models were estimated to identify the the factors influencing the high trust in security. Model 1 included mobile application quality, the composite fraud experience index, application experience, and usage frequency as independent variables. Model 2 added the socio-demographic control variables of young age and employment status.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Sample characteristics and descriptive statistics

The demographic profile of the sample reflects an active digital banking user base in Albania, predominantly composed of females (64.44%), young adults aged 18 to 24 (51.67%), and university-educated individuals (97.78%, with 33.89% holding or pursuing a master's degrees). Most respondents (65.00%) were employed in public or private sector or were self-employed. Routine mobile banking engagement was high, with 60.56% using applications daily or several times a week, and 29.44% several times a month; primarily for domestic transfers (56.67%), balance inquiries (54.44%), and utility bill payments (36.11%). This result reinforce earlier findings indicating that routine, basic transaction continue to predominate among digital banking users (Ismaili & Braimllari, 2021). Security concerns were identified as the primary barrier to expanded usage by 47.22% of respondents, outweighing interface complexity (30.00%) and preferences for in-person branch visits (11.11%). This aligns with the findings of Sevrani and Gorica (2011) and Ismaili and Braimllari (2021).

Regarding the experience using application, 70.56% of respondents reported long-term experience of 2 or more years. While direct personal fraud exposure was relatively low (12.50%), indirect exposure through family and friends affected 56.50% of the sample.

Perceptions of mobile application quality were favorable, with 45.56% rating quality as very good or excellent and 40.56% as average. However, overall trust in mobile banking security remained cautious: 45.00% declared moderate rating, and only 34.44% reported high trust.

3.2. Bivariate analysis and tests of independence

Results of Chi-square tests of independence between high trust in mobile banking security and other variables are presented in Table 1.

Table 1. Results of chi-square tests of independence

Variable	Chi-square statistics (df)
Fraud experience index	6.306** (1)
Usage frequency	0.080 (1)
Experience	1.853 (1)
Application quality	33.03*** (4)
Young age	4.535** (1)
Employment status	5.167** (1)

Note: * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Four variables were statistically significant at the 5% level; specifically, high trust in mobile banking security was significantly associated with application quality, fraud experience index, young age, and

employment status of the respondents. Whereas, usage frequency, and application experience, were not significantly associated with high trust in mobile banking security.

3.3. Binary logistic regression analysis

The results of logistic regression analysis in Table 2 indicated that both models were statistically significant at 1% level, and correctly classifying 72.22% and 72.78% of cases, respectively. Each model explained a modest percentage of the variance (0.132 and 0.159, respectively) of trust in security and also demonstrated a satisfactory goodness of fit to the data.

Two independent variables, application quality and fraud experience, were statistically significant in both models. Respondents who rated mobile application quality as high were significantly more likely to declare high trust in security. This finding aligns with the results of Budianto (2026) and Alalwan et al. (2018), who demonstrated that system /application quality influence the adoption and continued use of digital banking platforms.

Table 2. Results of binary logistic regressions models about trust in digital banking security

Independent variable	Model 1			Model 2		
	Coef.	Odd ratio	95% CI for Odd ratio	Coef.	Odd ratio	95% CI for Odd ratio
Fraud experience index	−0.841**	0.431**	[0.211, 0.882]	−0.846**	0.429**	[0.206, 0.892]
Usage frequency	0.105	1.110	[0.554, 2.224]	0.035	1.036	[0.507, 2.117]
Experience	0.305	1.356	[0.634, 2.901]	0.431	1.538	[0.697, 3.392]
Application quality	1.004***	2.731***	[1.743, 4.279]	0.963***	2.619***	[1.663, 4.125]
Young age				0.381	1.464	[0.711, 3.016]
Employment status				−0.693*	0.500*	[0.243, 1.03]
Constant	−3.863***	0.021***	[0.003, 0.125]	−3.540***	0.029***	[0.004, 0.199]
Model fit statistics						
LR Chi2 (df)	31.04*** (4)			36.80*** (7)		
Pseudo-R^2	0.134			0.159		
% correctly classified	72.22			72.78		

Note: * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

On the other hand, respondents exposed to fraud, personally or indirectly through family and friends, were significantly less likely to report high trust in mobile banking security compared to unexposed respondents. This confirms that informal communication networks and indirect fraud experience erode systemic trust just as effectively as direct financial loss. As Choudhuri et al. (2024) argued, consumer trust depends heavily on social proof. Moreover**,** widespread financial scams and frauds threaten to erode levels of public trust and confidence in the financial system and damage the progress achieved in digital financial inclusion (OECD, 2026; Kanimozhi and Peter, 2025, Akbar et al., 2025).

However, when all factors were evaluated simultaneously in Model 2, young age lost statistical significance entirely, whereas employment status retained marginal significance, indicating that employed respondents were less likely to report high trust in security than other participants. Employed respondents, with mandatory salary direct deposits, larger transaction volumes, and higher account balances, increase personal capital exposure. As a consequence, employed respondents exhibit greater vigilance and lower trust in mobile banking security, as they perceive a higher potential magnitude of financial loss compared to unemployed users.

The logistic regression analysis demonstrated that high trust in digital banking sector is primarily driven by perceived application quality and fraud experience, rather than usage frequency, experience, or young age of users. This indicates that while convenience, operational speed, and time savings drive how often and how long individuals use an application, routine usage and experience alone do not automatically build security trust.

4. CONCLUSIONS

This study examined the factors influencing the trust in digital banking security using data from a sample of 180 mobile banking consumers in Albania. The findings reveal that while consumers engage in frequent mobile banking, predominantly for routine transactions, trust in digital banking security remains moderate, with security concerns representing the primary structural barrier to wider platform adoption and continued use. In an economy historically shaped by a cash preference and memory of

financial instability, building psychological trust is a prerequisite for a sustainable cashless transition. While the chi-square tests of independence indicated significant associations for mobile application quality, fraud exposure, age, and employment status, the binary logistic regression models demonstrated that high trust in mobile banking security is driven primarily by application quality and fraud exposure rather than usage frequency and experience. These results confirm that while operational speed and convenience drive routine usage, long-term trust in security is governed by technical system stability, social proof, and active workforce engagement. Although the progression from trust in security to full digital banking adoption is influenced by complementary factors like convenience, cost structures, digital literacy, strategic marketing and social influence, establishing trust remains the fundamental prerequisite. Therefore, trust in security must be prioritized in future strategic initiatives aimed at driving secure adoption and continued use of digital banking both of which are critical to advancing sustainable financial inclusion.

For commercial banks, the findings recommend: communicating fraud protection and incident response proactively, to contain the loss of trust among consumers who only hear about problems second-hand; investing visibly in biometric authentication and 24/7 support; designing age-specific reassurance, such as digital-literacy sessions and simplified onboarding, for customers aged 35 and above; explaining Open Banking in plain language; and benchmarking weaker mobile apps against the top-rated ones. For the Bank of Albania, the priorities are a sustained national financial-literacy and awareness campaign, building on its Strategy for Financial Education and Financial Inclusion (Bank of Albania, 2023); transparent communication about incidents and strong consumer-protection standards; continued enabling of FinTech entrants; and a cashless transition under the Cashless Albania 2030 initiative of Government of Albania that is paired with trust-building so that it does not outpace public readiness.

Several limitations should be acknowledged about these findings. First the study rely on a convenience and relatively small sample skewed toward younger and highly educated respondents, so results are indicative rather than representative of the Albanian population; if even this digitally engaged group is hesitant, barriers in the wider population are likely to be greater. Second, the data are self-reported attitudes that may differ from actual behavior. Finally, the set of independent variables used for the logistic regression models was limited.

Future research should employ larger probability-based representative samples to increase validity, add more variables such as service quality, usefulness, price, etc., combine behavioral data such as transaction records, and qualitative interviews with both consumers and bank managers to identify the reasons behind the erosion of trust and the willingness to adopt fully digital banking.

REFERENCES

Akbar, F., Hussain, J., Usman, M. B., & Afzal, J. (2025). The impact of financial scams on consumer trust in the banking sector: a qualitative analysis. International Journal of Discovery in Social Sciences, *1*(1). https://doi.org/10.64060/IJDSS.v1i1.5

Bank of Albania. (2023). Strategy for Financial Education and Financial Inclusion 2024–2026. Tirana: Bank of Albania.

Budianto, H. (2026). Determinants of customer trust in digital banking services. Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi, *5*(2), 414-424. https://doi.org/10.58192/profit.v5i2.4383

Choudhuri, S., et al. (2024). An analysis of factors influencing consumer trust in online banking security measures. *Educational Administration: Theory and Practice 30*(2), 660–666. https://doi.org/10.53555/kuey.v30i2.1742

Diallo, A., Samhi, J., Bissyandé, T. F., & Klein, J. (2025). (In) Security of mobile apps in developing countries: a systematic literature review. Empirical Software Engineering, *30*(5), 131. https://doi.org/10.1007/s10664-025-10689-z

Elias, G. (2022). A Study on E-Banking Services with Special Reference to Kunnathunadu Grama Panchayath. Kaav International Journal of Economics, Commerce & Business Management, 9(2), 1-4. https://doi.org/10.52458/23484969.2022.v9.iss2.kp.a1

Ilollari, O., & Kociaj, I. (2025). The benefits of digital banking in Albania: A catalyst for financial inclusion and economic growth. 7th International Mediterranean Congress, University of Valencia.

Ismaili, E., & Braimllari (Spaho), A. (2021). Factors influencing the frequency of use of e-banking services in Albania. *CEUR Workshop Proceedings* (Proceedings of RTA-CSIT 2021), (pp. 52-60). Tirana, Albania.

Kanimozhi, K., & Peter, M. (2025, November). Online Banking Frauds and Their Impact on Customer Trust. In 2025 International Conference on Intelligent & Innovative Practices in Engineering & Management (IIPEM) (pp. 1-6). IEEE. https://doi.org/ 10.1109/IIPEM65914.2025.11548271

Karabadji, A. (2026). The Influence of Digital Trust on Customers' Intention to Use Online Banking Services. Minnesota Journal of Business Law and Entrepreneurship, (3), 4188-4203.

Kraciuk, J., Kacperska, E. M., & Idzik, M. (2026). The Halo Effect as a Factor Influencing Consumer Trust in Innovative Technological Solutions. Sustainability, 18(6), 2984. https://doi.org/10.3390/su18062984

Molishti, L., & Topalli, M. (2026). Digital transformation of the Albanian banking system: Results of the Albanian banking-sector digitalization survey 2024. Working Paper 07 (103), 1-39. Tirana: Bank of Albania.

OECD (2026), Protecting Consumers from Financial Scams and Frauds, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/d41817bb-en.

Riasat, I., Shah, M., & Gonul, M. S. (2025). Strengthening cybersecurity resilience: An investigation of customers' adoption of emerging security tools in mobile banking apps. Computers, *14*(4), 129. https://doi.org/10.3390/computers14040129

Sevrani, K., & Gorica, K. (2011). Implications of e-banking in entrepreneurial marketing – Case from Albania. *Chinese Business Review, 10*(1), 67–75.

Tahiri, G., & Numani, E. (2022). Fintech: The economic and social impact in the Albanian context. The Albanian Journal of Economics and Business, (35), 68–77.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BEYOND TECHNOLOGY ADOPTION: EXAMINING THE CONDITIONS FOR SUSTAINING TECHNOLOGY-ENHANCED MATHEMATICS INSTRUCTION IN NIGERIAN SECONDARY SCHOOLS

Abdurrahman Sani Yar'adua
Department of Science Education, Federal University Dutsin-Ma, Katsina State, Nigeria. ORCID: 0009-0011-6385-0067
Saratu Abdulfatah
Department of Physics, Faculty of Natural and Applied Science, Umaru Musa Yar'adua University, Katsina,
ORCID: 0009-0007-9511-7082
Yahaya Salisu
Department of General Studies Education, Yusuf Bala Usman College of Education and Legal Studies, Daura, Katsina State.

Abstract
Despite growing efforts to integrate digital technologies into mathematics education, sustaining their effective use in Nigerian secondary schools remains a concern, particularly regarding technological infrastructure, teachers' digital competence, institutional support, and resource management. This study examined the conditions influencing the sustainability of technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools within Katsina Zonal Education Quality Assurance (ZEQA), Katsina State, Nigeria. Three research objectives guided the study, focusing on the availability and adequacy of technological infrastructure, teachers' digital competence and institutional support, and the financial, technical, and administrative challenges affecting sustainable technology integration. A descriptive survey research design was adopted. The sample comprised 115 respondents, consisting of 92 mathematics teachers and 23 school administrators from 23 public secondary schools across three Local Government Areas. All 23 schools were included through total enumeration, while proportionate sampling was used to select mathematics teachers and purposive sampling was employed to select school administrators. Data were collected using the Technology-Enhanced Mathematics Instruction Sustainability Questionnaire (TEMISQ), which was validated by experts in Mathematics Education, Educational Technology, and Measurement and Evaluation. The instrument yielded a reported Cronbach's alpha reliability coefficient of 0.89. Data were analysed using frequency counts, percentages, means, and standard deviations, with a criterion mean of 2.50 for interpreting responses. The study provides a basis for understanding the conditions required to sustain technology-enhanced mathematics instruction and highlights the importance of technological infrastructure, teacher development, institutional commitment, and effective resource management in strengthening technology integration in Nigerian secondary schools.
Keywords: Technology-enhanced mathematics instruction, sustainability, technological infrastructure, digital competence, institutional support, secondary schools.

Introduction

Digital technology has become an important feature of contemporary educational reform because it creates opportunities to improve instructional delivery, expand access to learning resources, and enhance students' learning experiences. In mathematics education, digital tools such as dynamic geometry software, computer simulations, interactive applications, spreadsheets, graphing tools, and digital learning platforms can support visualisation, experimentation, exploration, and problem-solving (Hillmayr et al., 2020). These tools enable learners to represent mathematical ideas in multiple forms, manipulate variables, test conjectures, and observe the effects of their actions, thereby making abstract mathematical concepts more accessible (Bray & Tangney, 2017).

The potential of technology to improve mathematics learning is supported by empirical evidence. Hillmayr, Ziernwald, Reinhold, Hofer, and Reiss (2020), in a meta-analysis of 92 studies involving secondary school mathematics and science, found that technology-supported instruction had a positive effect on students' learning outcomes. Similarly, Cheung and Slavin (2013) reported positive effects of

educational technology applications on mathematics achievement among students in kindergarten through Grade 12. These findings suggest that technology can contribute to mathematics learning when it is appropriately selected and integrated into classroom instruction. However, its educational value depends on more than the availability of digital devices; it also requires effective teaching practices and suitable implementation conditions.

In mathematics classrooms, technology can serve several pedagogical purposes. Dynamic geometry software can help students investigate geometric properties and transformations; graphing tools can support the study of functions and algebraic relationships; simulations can make abstract concepts more concrete; and digital platforms can provide practice, feedback, and assessment opportunities (Bray & Tangney, 2017). When technology is used for exploration, reasoning, and problem-solving rather than merely for presentation, it can support a shift from procedural, teacher-centred instruction towards more interactive and conceptually oriented mathematics teaching (Bray & Tangney, 2017).

However, the availability of technology does not automatically lead to improved mathematics instruction. Bray and Tangney (2017), in a systematic review of 139 studies, found that technology was frequently used to supplement conventional teaching, while more transformative uses were less common. This suggests that many teachers may use digital tools mainly for explanation, demonstration, or drill-and-practice rather than for promoting deeper mathematical reasoning and conceptual understanding. Consequently, the effectiveness of technology integration should be judged not only by the presence of devices in schools but also by the quality, frequency, and purpose of their classroom use (Bray & Tangney, 2017; Hillmayr et al., 2020).

The distinction between technology adoption and sustainability is central to this study. Technology adoption refers to the introduction or initial use of a digital resource, whereas sustainability refers to the capacity to maintain its effective and purposeful use over time. A school may acquire computers, projectors, interactive boards, or educational applications without providing ongoing teacher development, maintenance funds, reliable electricity, or technical support. In such circumstances, technology use may remain occasional, superficial, or dependent on short-term projects rather than becoming a routine part of mathematics instruction (Oliweh et al., 2022; Olanrewaju, 2023).

Sustaining technology-enhanced mathematics instruction requires coordinated attention to technological, professional, institutional, and financial conditions. Schools require functional equipment, reliable electricity, appropriate internet access where necessary, and arrangements for maintenance and technical support. Teachers also require continuous professional development that connects digital competence with mathematics content and sound pedagogical practice. Hillmayr et al. (2020) identified teacher training as an important factor influencing the effectiveness of technology-supported instruction, while Bray and Tangney (2017) emphasised the need for sustained support to realise the potential of technology in mathematics education.

Teachers' digital competence is a major condition for sustainable integration. Teachers need not only basic ICT operational skills but also the ability to select appropriate digital tools, design technology-based mathematical tasks, manage classroom activities, and use technology for assessment and feedback. The Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework explains that effective teaching with technology requires the integration of technological knowledge, pedagogical knowledge, and content knowledge (Mishra & Koehler, 2006). According to Mishra and Koehler (2006), a teacher's knowledge becomes most powerful when technological, pedagogical, and content knowledge interact rather than operate separately. In mathematics education, this means that a teacher must understand both how a digital tool works and how it can be used to support students' understanding of specific mathematical concepts.

Professional development is therefore essential for building teachers' capacity to use technology sustainably. Effective professional development should be continuous, practical, subject-specific, and connected to teachers' classroom realities. It should provide opportunities for teachers to design lessons, practise using digital tools, receive feedback, collaborate with colleagues, and reflect on the impact of technology on students' learning. Research on technology integration shows that teachers' decisions are influenced by perceived ease of use, instructional usefulness, access to compatible resources, and support conditions (McCulloch et al., 2018). McCulloch, Hollebrands, Lee, Harrison, and Mutlu (2018) found that secondary mathematics teachers' technology-integration decisions were shaped by ease of

use, support for instruction, and access and compatibility of technological resources.

Teachers' attitudes, motivation, and self-efficacy also influence whether technology use is sustained. Teachers who believe that technology improves students' understanding, increases engagement, and makes mathematics more relevant are more likely to use digital tools regularly. Peng, Razak, and Shahbodin (2024) found that teachers' attitudes, self-efficacy, and digital literacy significantly influence their use of ICT-based teaching and learning tools. This suggests that teachers who lack confidence, perceive technology as burdensome, or experience frequent technical difficulties may be less likely to continue using digital resources in their classrooms (Peng et al., 2024).

Institutional support is equally important. School administrators influence technology integration through resource allocation, timetable arrangements, encouragement of professional development, provision of technical assistance, and the creation of a supportive school culture. González-Calatayud, Prendes-Espinosa, and Roig-Vila (2021), in a large-scale international and multilevel study, found that both teacher characteristics and school-level characteristics influence teaching with technology. This evidence indicates that sustainable technology integration cannot rely on individual teacher effort alone; it requires an enabling school environment that supports teachers before, during, and after the introduction of digital tools (González-Calatayud et al., 2021).

Financial feasibility is another critical condition for sustainability. Technology integration involves recurrent costs, including electricity, internet subscriptions, software licences, repairs, replacement of damaged equipment, and continuous teacher training. In Nigerian schools, financial constraints have been identified as a major barrier to the use of instructional technology. Oliweh, James, and Enebeli (2022) found that some available instructional technology resources in mathematics teaching in Delta State were not fully utilised and identified financial constraints and other barriers affecting their use. This evidence shows that resource availability alone is an insufficient measure of effective technology integration.

In Nigeria, the use of ICT in secondary school mathematics is influenced by differences in infrastructure, electricity supply, access to digital resources, and teachers' technological competence. Anaeche, Babatunde, and Onah (2016) examined Nigerian mathematics teachers' perspectives on ICT and identified issues relating to teacher preparation and barriers to classroom integration. Olanrewaju (2023), in a study of 350 teachers in public secondary schools in Oyo Central Senatorial District, examined ICT use in mathematics teaching and recommended improved teacher training and the provision of ICT infrastructure. These studies indicate that effective classroom application of technology requires deliberate investment in both teachers and the learning environment (Anaeche et al., 2016; Olanrewaju, 2023).

Further Nigerian evidence demonstrates that the availability and use of educational technology are not necessarily the same. Oliweh et al. (2022) reported that some available instructional technology resources were underutilised in mathematics teaching in Delta State. In contrast, Ajadi (2024), in a survey of 200 secondary school teachers in Oyo State, reported that teachers were using available ICT resources in teaching and learning, while emphasising the need for continued preparation and development of teachers' ICT competencies. Taken together, these studies show that technology integration varies across Nigerian school contexts and that sustained use depends on more than the physical presence of digital resources (Oliweh et al., 2022; Ajadi, 2024).

Research conducted in Katsina State also provides evidence of the potential contribution of digital resources to teaching and learning. Mohammed, Lado, and Yar'adua (2026), in their study of computer-assisted instruction in longitude and latitude among secondary school students in Katsina State, reported better performance among students exposed to computer-assisted instruction than among those taught using the lecture method. This finding is relevant because it demonstrates the instructional potential of technology-supported mathematics teaching within the Nigerian.

Nevertheless, evidence of improved performance during a particular intervention does not establish that schools can maintain the approach over an extended period. An instructional strategy may be effective under research conditions but difficult to sustain when equipment, funding, teacher training, or technical support becomes unavailable (Mohammed et al., 2026).

Curriculum alignment is another important condition for sustainability. Technology-enhanced mathematics instruction should be connected to specific curriculum objectives, including number and

algebra, geometry and measurement, statistics and probability, and problem-solving. When digital tools are aligned with curriculum goals and assessment requirements, teachers are more likely to view them as relevant and useful. When they are not aligned, technology use may become occasional, superficial, or abandoned. Bray and Tangney (2017) similarly note that meaningful technology use in mathematics education requires attention to pedagogical purpose and the role of technology in supporting mathematical learning rather than simply introducing digital devices into classrooms.

Although previous studies have examined the benefits of educational technology, ICT availability, and teachers' preparedness, further attention is needed on how these factors combine to support the continued use of technology-enhanced mathematics instruction in Nigerian secondary schools. International evidence has established the potential of digital tools to improve learning, while Nigerian studies have identified challenges involving resource utilisation, teacher preparation, and financial constraints (Bray & Tangney, 2017; Olanrewaju, 2023; Oliweh et al., 2022). However, evidence of instructional effectiveness and evidence of long-term sustainability address different questions. Understanding the relationship between infrastructure, teacher competence, institutional support, and financial feasibility is therefore important for developing technology-integration strategies that can be maintained beyond individual projects or short-term interventions.

This study therefore examines the conditions required to sustain technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools within Katsina Zonal Education Quality Assurance (ZEQA), Katsina State, Nigeria. It focuses on technological infrastructure, teachers' digital competence, institutional support, financial feasibility, maintenance arrangements, and the major challenges affecting sustained technology use.

Statement of the Problem

Despite the potential of digital technologies to improve mathematics teaching and learning, their sustained integration into Nigerian secondary schools remains a challenge. Inadequate ICT infrastructure, unreliable electricity, limited teacher training, insufficient funding, and poor maintenance may constrain effective technology use (Olanrewaju, 2023; Oliweh et al., 2022). Although previous studies have examined the effectiveness of technology-enhanced instruction, the conditions necessary for its sustained implementation require further investigation. Therefore, this study examines the technological, professional, institutional, and financial factors influencing the sustainability of technology-enhanced mathematics instruction in Nigerian secondary schools.

Objectives of the Study

The objectives of this study is to examine the conditions for sustaining technology-enhanced mathematics instruction in Nigerian secondary schools, specific objectives are to:

1. Examine the availability and adequacy of technological infrastructure for mathematics instruction in secondary schools.
2. Assess mathematics teachers' digital competence and access to professional development.
3. Assess the adequacy of funding and maintenance arrangements for sustaining educational technology.
4. Identify the major challenges affecting the sustained use of technology in mathematics instruction.

Research Questions

The following research questions will guide the study:

1. What is the state of technological infrastructure for sustaining technology-enhanced mathematics instruction?
2. What is the level of mathematics teachers' digital competence and access to professional development?
3. How adequate are the funding and maintenance arrangements for sustaining educational technology?
4. What are the major challenges affecting the sustained use of technology in mathematics instruction?

Significance of the Study

The findings of this study may be beneficial to mathematics teachers, school administrators, educational policymakers, and researchers. Mathematics teachers may gain insights into the competencies required for effective technology integration. School administrators may use the findings to improve resource allocation, technical support, and maintenance arrangements. Educational policymakers may also benefit from evidence to guide policies on infrastructure, teacher development, and sustainable technology integration. Furthermore, the study may contribute to existing knowledge and provide a basis for further research on technology-enhanced mathematics instruction in Nigerian secondary schools.

Methodology

The study adopted a descriptive survey research design to examine the conditions for sustaining technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools within Katsina Zonal Education Quality Assurance (ZEQA), Katsina State, Nigeria. The population comprised mathematics teachers and school administrators from 23 public secondary schools distributed across three Local Government Areas within the zone. A sample of 115 respondents, consisting of 92 mathematics teachers and 23 school administrators, was selected for the study. A total enumeration approach was employed to include all 23 secondary schools, while proportionate sampling was used to select mathematics teachers based on their distribution across the schools. One school administrator, either the principal or vice-principal, was purposively selected from each school. Data were collected using a researcher-developed instrument titled Technology-Enhanced Mathematics Instruction Sustainability Questionnaire (TEMISQ), designed to assess technological infrastructure, teachers' digital competence, institutional support, and financial, technical, and administrative challenges affecting sustainable technology integration. The instrument was subjected to face and content validation by experts in Mathematics Education, Educational Technology, and Measurement and Evaluation. The reliability of the instrument was determined using Cronbach's alpha, yielding a coefficient of 0.89. The questionnaire was structured on a four-point Likert scale ranging from Strongly Agree (4) to Strongly Disagree (1). Following approval from the relevant educational authorities, the instrument was administered to the selected respondents, and completed questionnaires were retrieved for analysis. Data were analysed using descriptive statistics, including frequency counts, percentages, means, and standard deviations, to address the three research questions. A criterion mean of 2.50 was adopted for interpreting responses, with mean scores of 2.50 and above indicating agreement and scores below 2.50 indicating disagreement.

RESULTS

Research Question 1: What is the state of technological infrastructure for sustaining technology-enhanced mathematics instruction?

Table 1: Respondents' Assessment of Technological Infrastructure for Sustaining Technology-Enhanced Mathematics Instruction

Questionnaire item	Agree n (%)	Disagree n (%)	Mean	SD	Decision
Functional digital devices are available for mathematics teaching.	66 (57.4%)	49 (42.6%)	2.64	0.89	Accepted
The school has reliable electricity for digital lessons.	68 (59.1%)	47 (40.9%)	2.62	0.94	Accepted
Internet connectivity is adequate for digital mathematics instruction.	65 (56.5%)	50 (43.5%)	2.68	0.99	Accepted
Available digital devices are accessible to mathematics teachers.	60 (52.2%)	55 (47.8%)	2.51	0.89	Accepted
Appropriate mathematics learning software is available.	70 (60.9%)	45 (39.1%)	2.73	0.89	Accepted
Digital equipment is functional when required for lessons.	61 (53.0%)	54 (47.0%)	2.54	0.89	Accepted

Note. N = 115. Agree combines SA and A; Disagree combines D and SD. Criterion mean = 2.50. SD =

standard deviation.

Table 1 shows the respondents' views on the availability of technological infrastructure for technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools in Katsina ZEQA. The findings indicate that 60.9% of the respondents, with a mean score of 2.73, agreed that appropriate mathematics learning software is available. Also, 59.1% of the respondents, with a mean score of 2.62, agreed that their schools have reliable electricity for digital lessons. Similarly, 57.4% of the respondents, with a mean score of 2.64, agreed that functional digital devices are available for mathematics teaching, while 56.5%, with a mean score of 2.68, agreed that internet connectivity is adequate for digital mathematics instruction. Furthermore, 53.0% of the respondents, with a mean score of 2.54, agreed that digital equipment is functional when required for lessons, and 52.2%, with a mean score of 2.51, agreed that available digital devices are accessible to mathematics teachers.

It is observed from the responses that technological infrastructure is available to a moderate extent in public secondary schools in Katsina ZEQA. However, access to digital devices, reliable electricity and functional equipment still requires improvement. Based on the criterion mean of 2.50, all six items were accepted.

Research Question 2: What is the level of teachers' digital competence and professional development?

Table 2: Respondents' Assessment of Teachers' Digital Competence and Professional Development

Questionnaire item	Agree n (%)	Disagree n (%)	Mean	SD	Decision
Mathematics teachers can operate available digital learning devices.	59 (51.3%)	56 (48.7%)	2.56	0.87	Accepted
Mathematics teachers can use suitable digital mathematics applications.	55 (47.8%)	60 (52.2%)	2.48	0.88	Rejected
Mathematics teachers can integrate technology into lesson plans.	55 (47.8%)	60 (52.2%)	2.46	0.92	Rejected
Mathematics teachers can troubleshoot basic technical problems.	56 (48.7%)	59 (51.3%)	2.43	0.92	Rejected
Teachers have opportunities for ICT-related professional development.	61 (53.0%)	54 (47.0%)	2.57	0.96	Accepted
Professional development supports the teaching of mathematics with technology.	62 (53.9%)	53 (46.1%)	2.56	0.94	Accepted

Note. N = 115. Agree combines SA and A; Disagree combines D and SD. Criterion mean = 2.50. SD = standard deviation.

Table 2 shows the respondents' views on mathematics teachers' digital competence and professional development. The findings reveal that 53.9% of the respondents, with a mean score of 2.56, agreed that professional development supports the teaching of mathematics with technology. Also, 53.0% of the respondents, with a mean score of 2.57, agreed that teachers have opportunities for ICT-related professional development. Similarly, 51.3%, with a mean score of 2.56, agreed that mathematics teachers can operate available digital learning devices.

However, 52.2% of the respondents, with a mean score of 2.48, disagreed that mathematics teachers can use suitable digital mathematics applications. Also, 52.2% of the respondents, with a mean score of 2.46, disagreed that mathematics teachers can integrate technology into lesson plans. Furthermore, 51.3% of the respondents, with a mean score of 2.43, disagreed that mathematics teachers can troubleshoot basic technical problems.

It is observed from the responses that mathematics teachers demonstrate some ability to operate digital devices and have access to ICT-related professional development. However, their competence in using mathematics applications, integrating technology into lesson plans and troubleshooting basic technical problems requires further improvement. Based on the criterion mean of 2.50, three items were accepted, while three items were rejected.

Research Question 3: What funding and maintenance arrangements support sustained technology use?

Table 3: Respondents' Assessment of Funding and Maintenance Arrangements for Sustained Technology Use

Questionnaire item	Agree n (%)	Disagree n (%)	Mean	SD	Decision
Funds are available for routine digital equipment maintenance.	76 (66.1%)	39 (33.9%)	2.71	0.90	Accepted
Faulty devices are repaired promptly.	60 (52.2%)	55 (47.8%)	2.49	0.98	Rejected
The school budgets for replacing outdated devices.	68 (59.1%)	47 (40.9%)	2.61	0.88	Accepted
Funds are available to maintain internet services.	61 (53.0%)	54 (47.0%)	2.58	0.92	Accepted
Digital learning software is updated or renewed as needed.	61 (53.0%)	54 (47.0%)	2.61	0.94	Accepted
Technical maintenance arrangements are adequate.	56 (48.7%)	59 (51.3%)	2.51	0.97	Accepted

Note. N = 115. Agree combines SA and A; Disagree combines D and SD. Criterion mean = 2.50. SD = standard deviation.

Table 3 shows the respondents' views on funding and maintenance arrangements for sustaining technology-enhanced mathematics instruction. The findings indicate that 66.1% of the respondents, with a mean score of 2.71, agreed that funds are available for routine digital equipment maintenance. Also, 59.1% of the respondents, with a mean score of 2.61, agreed that their schools budget for replacing outdated devices. Similarly, 53.0% of the respondents, with a mean score of 2.58, agreed that funds are available to maintain internet services. Another 53.0% of the respondents, with a mean score of 2.61, agreed that digital learning software is updated or renewed as needed.

However, 51.3% of the respondents, with a mean score of 2.51, disagreed that technical maintenance arrangements are adequate.

It is observed from the responses that some funding and maintenance arrangements are available for sustaining technology-enhanced mathematics instruction, particularly in relation to routine equipment maintenance, replacement of outdated devices and maintenance of internet services. Nevertheless, adequate technical maintenance arrangements remain an area requiring attention. Based on the criterion mean of 2.50, five items were accepted, while one item was rejected.

Research Question 4: What are the major challenges affecting the sustained use of technology in mathematics instruction?

Table 4: Respondents' Ratings of Barriers Affecting the Sustained Use of Technology-Enhanced Mathematics Instruction

Questionnaire item	Agree n (%)	Disagree n (%)	Mean	SD	Decision
Unreliable electricity disrupts technology-enhanced mathematics lessons.	68 (59.1%)	47 (40.9%)	2.71	0.93	Accepted
Poor internet connectivity limits digital teaching.	74 (64.3%)	41 (35.7%)	2.82	0.92	Accepted
Insufficient functional devices hinder technology use.	72 (62.6%)	43 (37.4%)	2.78	0.97	Accepted
High maintenance costs limit continued technology use.	67 (58.3%)	48 (41.7%)	2.70	0.97	Accepted
Limited teacher training hinders technology integration.	65 (56.5%)	50 (43.5%)	2.72	1.00	Accepted
Lack of technical support interrupts digital lessons.	75 (65.2%)	40 (34.8%)	2.74	0.91	Accepted

Insufficient funding prevents consistent technology use.	69 (60.0%)	46 (40.0%)	2.75	0.97	Accepted
Difficulty accessing appropriate digital mathematics resources limits teaching.	72 (62.6%)	43 (37.4%)	2.82	0.98	Accepted

Note. N = 115. Agree combines SA and A; Disagree combines D and SD. Criterion mean = 2.50. SD = standard deviation.

Table 4 shows the challenges affecting the sustained use of technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools in Katsina ZEQA. The findings indicate that 65.2% of the respondents, with a mean score of 2.74, agreed that lack of technical support interrupts digital lessons. Also, 64.3% of the respondents, with a mean score of 2.82, agreed that poor internet connectivity limits digital teaching. Similarly, 62.6% of the respondents, with a mean score of 2.82, agreed that difficulty accessing appropriate digital mathematics resources limits teaching. Another 62.6% of the respondents, with a mean score of 2.78, agreed that insufficient functional devices hinder technology use. Furthermore, 60.0% of the respondents, with a mean score of 2.75, agreed that insufficient funding prevents consistent technology use, while 59.1%, with a mean score of 2.71, agreed that unreliable electricity disrupts technology-enhanced mathematics lessons. In addition, 58.3% of the respondents, with a mean score of 2.70, agreed that high maintenance costs limit continued technology use, and 56.5%, with a mean score of 2.72, agreed that limited teacher training hinders technology integration.

It is observed from the responses that the major challenges affecting the sustained use of technology-enhanced mathematics instruction include lack of technical support, poor internet connectivity, limited access to appropriate digital mathematics resources, insufficient functional devices, inadequate funding, unreliable electricity, high maintenance costs and limited teacher training. Based on the criterion mean of 2.50, all eight items were accepted.

Discussion

The discussion of findings is presented according to the four research questions. The findings are compared with relevant empirical studies and reports to establish areas of agreement and disagreement with previous research.

The findings revealed that technological infrastructure was available to a moderate extent in public secondary schools in Katsina ZEQA, with an overall mean score of 2.62. The respondents generally agreed that appropriate mathematics learning software, electricity, functional digital devices and internet connectivity were available. This finding is in line with the report of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2023), which emphasised that effective digital education requires more than the acquisition of technological equipment. It also requires reliable digital infrastructure, appropriate resources and enabling conditions that support the integration of technology into teaching and learning. Similarly, the finding also agrees with Omiyale (2025), who examined ICT infrastructure, teachers' competence and technology utilisation in public secondary schools in Lagos State, Nigeria. The study highlighted the need for infrastructure investment, teacher development and effective planning to improve ICT utilisation in public secondary schools.

The findings revealed that mathematics teachers possessed a moderate level of digital competence and professional development, with an overall mean score of 2.51. Although respondents agreed that teachers could operate available digital devices and had opportunities for ICT-related professional development, they expressed disagreement regarding teachers' ability to use suitable digital mathematics applications, integrate technology into lesson plans and troubleshoot basic technical problems. This finding is agree with the finding of Abdulazeez et al. (2025), who investigated technology literacy, computer self-efficacy and digital training among secondary school mathematics teachers in Ondo State, Nigeria. Their findings showed that mathematics teachers had average levels of technology literacy and negative perceptions of their computer self-efficacy. The authors further reported that technology literacy and computer self-efficacy influenced teachers' technology readiness. This supports the present finding that teachers' ability to operate digital devices does not necessarily translate into the pedagogical competence required to integrate technology effectively into mathematics instruction.

The findings revealed that funding and maintenance arrangements were moderately available, with an overall mean score of 2.59. Respondents generally agreed that funds were available for routine digital

equipment maintenance, replacement of outdated devices, internet services and software renewal. However, the findings indicated weaknesses in the prompt repair of faulty devices and the adequacy of technical maintenance arrangements.

This finding is consistent with UNESCO (2023), which emphasised that the provision, operation and maintenance of educational technology infrastructure require substantial capital investment and recurrent expenditure. The report further observed that technology is sometimes purchased without sufficient consideration of its long-term financial implications. This supports the present finding that the sustainability of technology-enhanced instruction depends not only on acquiring digital equipment but also on providing adequate resources for its maintenance and continued operation.

Similarly, the OECD (2023) highlighted the importance of enabling conditions and coordinated investment in sustaining digital education. Its report indicated that effective digital education requires a comprehensive approach that considers infrastructure, technology-related services and the conditions necessary for their continued use. This is consistent with the present finding that funding and maintenance arrangements are essential to the sustainability of technology-enhanced mathematics instruction.

The findings revealed that several challenges affected the sustained use of technology-enhanced mathematics instruction, with an overall mean score of 2.75. The major challenges identified included lack of technical support, poor internet connectivity, difficulty accessing appropriate digital mathematics resources, insufficient functional devices, inadequate funding, unreliable electricity, high maintenance costs and limited teacher training. This finding strongly agrees with UNESCO (2023), which identified unequal connectivity, inadequate teacher preparedness and the financial implications of educational technology as major concerns affecting the effective use of technology in education.

Similarly, Omiyale (2025) identified the need for coordinated infrastructure investment, teacher development and improved planning in Nigerian public secondary schools. This supports the present finding that the challenges affecting technology use are interconnected and cannot be addressed through the provision of digital devices alone.

Further support is provided by Abdulazeez et al. (2025), whose findings on average technology literacy and teachers' negative perceptions of their computer self-efficacy indicate that teachers' digital readiness remains an important consideration in technology integration. This is consistent with the present finding that limited teacher training affects the sustained use of technology-enhanced mathematics instruction.

Conclusion

This study examined the conditions for sustaining technology-enhanced mathematics instruction in public secondary schools within Katsina ZEQA, Katsina State, Nigeria. The findings revealed moderate availability of technological infrastructure, teachers' digital competence and professional development, and funding and maintenance arrangements. However, inadequate technical support, poor internet connectivity, limited teacher competence and maintenance challenges remain significant barriers to sustained technology use. The study concludes that the sustainability of technology-enhanced mathematics instruction requires more than the adoption of digital technologies; it depends on functional infrastructure, continuous teacher development, adequate funding and effective maintenance arrangements. Addressing these conditions is essential for promoting the consistent and meaningful integration of technology into secondary school mathematics instruction.

Recommendations

Based on the findings, the study recommends that:

1. Education authorities should ensure the availability of functional digital devices, reliable electricity, internet connectivity and appropriate mathematics software in public secondary schools.
2. Regular, practical training should be organised to strengthen mathematics teachers' digital competence and their ability to integrate technology into classroom instruction.
3. School management and relevant authorities should provide dedicated funds for equipment maintenance, repairs, software renewal and internet services.
4. Schools should establish effective technical support arrangements to minimise disruptions during technology-enhanced mathematics lessons.

References

Abdulazeez, I. O., Akinyemi, A. L., & Aremu, A. (2025). Technology literacy, computer self-efficacy and digital training as correlates of secondary school mathematics teachers' technology readiness in Ondo State, Nigeria. *Emmanuel Alayande University of Education Journal of Multidisciplinary Studies,* 1(1), 93–109. https://doi.org/10.60787/eaued-jms.vol1no1.8

Ajadi, T. A. (2024). Integrating information and communication technology in secondary education in Oyo State, Nigeria. *Faculty of Natural and Applied Sciences Journal of Mathematics and Science Education*, 6(1), 33–40.

Anaeche, K. C., Babatunde, B. O., & Onah, N. F. (2016). ICT in teaching mathematics: Nigerian teachers' perspective. *West African Journal of Industrial & Academic Research*, 17(1), 56–74.

Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research. *A systematic review of recent trends. Computers & Education,* 114, 255–273. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.004

Cheung, A. C. K., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K–12 classrooms: *A meta-analysis. Educational Research Review*, 9, 88–113.

González-Calatayud, V., Prendes-Espinosa, P., & Roig-Vila, R. (2021). Teaching with technology: A large-scale, international, and multilevel study of the roles of teacher and school characteristics. *Computers & Education,* 173, 104274. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104274

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: *A context-specific meta-analysis. Computers & Education,* 153, Article 103897. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897

McCulloch, A. W., Hollebrands, K., Lee, H., Harrison, T., & Mutlu, A. (2018). Factors that influence secondary mathematics teachers' integration of technology in mathematics lessons. *Computers & Education*, 123, 26–40. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.04.008

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record,* 108(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.

Mohammed, J., Lado, A., & Yar'adua, A. S. (2026). Effect of computer-assisted instruction on students' performance in longitude and latitude among secondary schools in Katsina State. *Impact International Journals of Sciences, Education and Arts*, 2(1), 1407–1414.

OECD. (2023). *Shaping digital education: Enabling factors for quality, equity and efficiency. OECD Publishing.* https://doi.org/10.1787/bac4dc9f-en

Olanrewaju, S. S. (2023). Assessment of teacher's usage and application of information and communication technology in the teaching of mathematics in secondary schools in Oyo Central Senatorial District of Oyo State. *The Colloquium*, 9(1), 27–33.

Oliweh, I. S., James, G. D., & Enebeli, L. (2022). The degree of using instructional technology in teaching and learning mathematics in Delta State, Nigeria. *British Journal of Education,* 10(15), 27–36. https://doi.org/10.37745/BJE.2013/VOL10N152736

Omiyale, A. D. (2025). Enhancing educational outcomes through ICT: A mixed-methods and machine learning study of public secondary schools in Lagos. *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*, 21(3), 81–91.

Peng, R., Razak, R. A., & Shahbodin, F. (2024). Exploring the role of attitudes, self-efficacy, and digital literacy in teachers' ICT integration. *Heliyon*, 10(3), e25254. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25254

UNESCO. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms? UNESCO*. https://doi.org/10.54676/HABJ1624

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FOOD INSECURITY IN NIGERIA: AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE,ECONOMIC DEVELOPMENT AND CONFLICT ON FOOD SECURITY

DR. CHUKWUEMEKA G. EME
Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja, Nigeria

ABSTRACT
Food insecurity is a major problem in Nigeria. The Food and Agriculture Organization (FAO) estimates that Nigeria's food security has worsened in the past 15 years. This paper examines the impacts of different factors that jeopardize the Nigerian food security situation. According to previous literature, there are mostly three factors that affect food security; climate change, economic development and violent conflict. Nigeria is the chosen case study because all the above mentioned factors play a key role in the country; it is affected by climate change, the economy is fluctuating and there has been the Boko Haram insurgency going on since 2009. This paper aims, with the help of the concept of food security, to analyze these factors to see whether and to what extent they influence food insecurity in Nigeria. This paper uses a mixed-methods approach. Quantitative data are retrieved from several data-bases that give measurements on food security, climate change, economy, and conflict. Qualitative data are reports and interviews that were conducted with Nigerian NGOs. Cautious findings show that all three factors can lead to food insecurity and, therefore, can explain why there is food insecurity in Nigeria. Finally, this paper concludes and confirms the results of existing research in the case of Nigeria.
Key Words: *Food Security and Insecurity, Climate change, Economic development, Violent conflict, Nigeria*

1. INTRODUCTION

When food security issues were first highlighted in the 1970s, the question was whether a nation or a region could command enough food to meet the aggregate requirements of its people. Special attention was paid to fluctuations in aggregate food supply and food security interventions were primarily concerned with providing effective buffer mechanisms against such fluctuations. In this context, food security measures came to be identified with macro-level instruments such as national and international storage of food and balance-of-payments support for countries facing temporary food shortages (see Waldes, 2011).

Food security is a basic human need and fighting hunger is one of the greatest challenges of this country (Ojo and Adebayo, 2012: 204). Although the number of people living in hunger has declined for many years, in 2015 it has started to increase again (FAO et al. 2019). Today, two billion people in the world are still living in moderate or severe food insecurity, because they do not have regular access to food, not a necessary variety of nutritional value, or there is not enough food for the whole population available. 820 million of these two billion facing insecurity are living in hunger (FAO et al., 2019: 22). Particularly in developing countries, people cannot meet their nutritional needs (Oyinloye et al., 2018: 69).

It is an immensely discussed issue in our society and many scholars have studied the factors leading to food security with their direct and indirect impacts on food security (e.g. Berhanu and Wolde, 2019; Martin-Shields and Stojetz, 2019; Musenwa et al., 2015). Amongst others, Misselhorn (2005) has compared different drivers and three key factors causing food insecurity: conflict, climate change, and economic development. As many scholars analyzed, these drivers often co-exist and influence each other. Only assessing a single factor influencing food insecurity is almost impossible and it is important to take confounding drivers into account.

The decline in the production of some of Nigeria's leading agricultural export commodities was most worrisome. For instance, Nigeria that was ranked as the world's leading producer and exporter of palm oil in the 1960s had become a net importer of this commodity in the mid-1970s. Similarly, Nigeria's cocoa production which ranked a peak of 305,000 tons in 1970 fell drastically to 160,000 tons in 1985 (CBN, 2004). The sharp down-turn in the gross value terms of trade in agriculture was equally serious.

The ratio of agricultural exports to food imports which stood at 147 per cent in 1970-1975 suffered significant deterioration and reached the lowest trough at 38 per cent by 1976-1982.

Today, Food security ranks the top most among the development problem facing Nigeria. The level of food insecurity has continued to rise steadily since 1986 to about 41% in 2004 (Sanusi, et al 2006). According to Barrett (2002), the lack of food excludes people to practice what other people are doing every time. However, large amount of food production in the world does not ensure any country's food security. Moreover, huge production in food at national level does not guarantee for the household food security. This may be due to unfair distribution of resources, variation in production functions, and motives for productivity. That is why even if the production increases through time, food insecurity, malnutrition and hunger remain the main agenda and much more serious problems in the world (Akume and Bakporhe, 2013).

1.1 Research Problem

A strong argument that encourages analyzing food security issues is the importance of food in our lives. There is evidence that climate change, economic development, and conflict affect food security negatively. For example, the Food and Agriculture Organization (FAO), International Fund for Agricultural Development, United Nations Children's Emergency Fund (UNICEF), World Food Program, and the World Health Organization have for the last three years published the report 'The State of Food Security and Nutrition in the World' that focused on conflict (FAO et al., 2017), climate change (FAO et al., 2018), and the economy as a driver of food insecurity (FAO et al., 2019). This shows that these factors are a global concern in today's world.

Nigeria is one of the most food insecure countries and highly affected by all three drivers. For one, the country is vulnerable to climate change and successively hit by environmental disasters, that impact people's livelihoods (Nkechi et al., 2017: 301). Furthermore, its economy is thriving, but around 48% of its population lives below the poverty line (World Bank, 2020; World Poverty Clock, 2020). In addition to that, since 2009 north-eastern Nigeria is struck by conflict, with the terrorist group Boko Haram involved. Due to that, Nigeria is suitable to use as a case study.

1.2 Aim and Research Question

Research that has been done on food security, has mostly focused on one driver, acknowledging others as compounding variables. Furthermore, many scholars have done a quantitative analysis. This paper analyzes different drivers for food insecurity in a single country analysis. It focuses on Nigeria, because as mentioned above, it is a food-deficit country and all three key drivers exists in the said country and can be analyzed. This leads to the following research questions:

- What factors impact food insecurity and jeopardize the food security situation in Nigeria?

The impact these drivers have on the food security situation in Nigeria is assessed in the paper. The analysis can be examined with the help of deductive research and a case study research design. To answer the research question, there are three sub-questions to be answered:

- What impact does climate change have on food security in Nigeria?
- What impact does Nigeria's economy have on its food security situation?
- What impact does the Boko Haram Insurgency have on food security in Nigeria?

1.3 Organization of the Study

After this introductory section, the next section elaborates on the literature review comprising of background information on climate change in Nigeria, Nigeria's economy, and Boko Haram terrorist group ant a review of previous literature which shows what scholars found on the different drivers impacting food security. This section also illustrates the concept of food security as used in this paper. The next section describes the research design and also analyzed the data collected from the field. Finally, a conclusion, recommendations and a roadmap for further research in related area were highlighted.

2.0 LITERATURE REVIEW

2.1 Background

The Federal Government of Nigeria is a culturally and religiously multifaceted country located in West Africa. It consists of 36 states and a capital territory. With approximately 201 Million, it is the most populated country in Africa, and its population is growing rapidly (World Poverty Clock, 2019). Nigeria declared its independence from Great Britain in 1960. After going through years of military junta, the country held its first democratic elections in 1999. Since then it has been on stable democracy with a lot of corruption and struggles to fight terrorism (Kah, 2017; World Bank, 2016). This section gives a background on Nigeria's economic sector, climate change in Nigeria, and the Boko Haram insurgency.

2.1.1 Economic Development

Today, Nigeria has a key role in Africa's economy with a large natural resource reservoir. It is a founding member of the African Union and an important, influential member of the Economic Community of West African States (ECOWAS).

Nigeria's biggest economic sector is the oil industry. With exporting, these natural resources, its economic growth depends largely on the world market and world oil prices (World Bank, 2020). Another important, but smaller sector, that has been contributing to Nigeria's economic growth is agriculture. Agriculture is the income for many Nigerians. The Nigerian Government operates on an agriculture strategy to achieve the first two goals of the sustainable development goals, reducing hunger and poverty, by for example bringing private sectors to invest in agriculture, building institutions in rural areas and developing the infrastructure all over the country (Obi et al., 2020: 208; World Bank, 2020). The Nigerian government has started with its intense oil trade under British rule and as a result, neglected agriculture as an important economic sector when the oil industry got bigger and they invested more in oil exploration, however at the moment they are working on reinvesting in this sector (Ojo & Adebayo, 2012: 205; Babu, 2018: 113-114).

Despite being an overall rich country with oil assets, Nigeria's economy has not created many more job opportunities and only a few people benefit from the GDP growth (World Bank, 2019: 20). About 96 million people, 48% of the population suffered from extreme poverty (Otekunrin et al., 2019: 4-5; World Poverty Clock, 2020). Since the population is growing rapidly and the percentage of people living in poverty is only slightly changing, the absolute number of people living in poverty is increasing as well, which causes even more people to suffer from food insecurity (Ugwoke et al., 2020: 1).

While poverty in the South has been decreasing over the years, it has been increasing in the North, especially the North East, because the region is developing less than the South (Ugwoke et al., 2020: 1). The poverty level is more than 50% higher in the North than in the South. Oil reserves are in the South and the economy in the Northeast and the cultivation of land is mostly done in rural areas in the North (Otekunrin et al., 2019: 6).

2.1.2 Climate Change in Nigeria

Climate change is a global issue that affects every country. Nigeria is amongst most sub-Saharan states vulnerable to the impacts of environmental problems. Throughout the years, environmental disasters have become more frequent. In 2012, for example, there was one of the worst floods in Nigeria in 40 years. This led to the loss of many lives, displacement of people, and farmlands being washed away (Nkechi et al., 2017: 301). Nevertheless, climate change does not affect all states the same. Nigeria has four semi-arid savannah climate in the middle belt and parts of the southwest' (Akande et al., 2017).

Desertification as well as too much rainfall can lead to changes in cultivation and displacement of people. Therefore, the whole country is hit by climatic change. All in all, there is evidence that climate change will worsen Nigeria's environment in the future (World Bank, 2016: 49; Abdulkadir, 2017; FAO, 2017).

2.1.3 Development of the Boko Haram terrorist organization

Jama' atu Ahlis Suma Lidda 'awati Wal,Jihad, commonly known as Boko Haram and in this study referred to as Boko Haram is an Islamic territorial terrorist organization in Nigeria. They do not only

aim for territories but also want to destroy the current Nigerian political system in said area to establish their political and religious ideology. They do this through attacks on humans and public facilities as well as the destruction of infrastructure and economic development (ICC, 2014: 4; Adelaja and George, 2019: 185-186).

The group was established between 2002 and 2003 in northeastern Nigeria, where contrary to the south, most of the population is Muslim. Boko Haram has surfaced in 2003 when they attacked police stations and public buildings in the northeastern Yobe State. The buildings were occupied for some days and the group demonstrated its sympathy with Afghanistan's Taliban (Pham, 2016: 3).

Until Nigerian authorities captured and killed their leader Mohammed Yusuf in 2009 they were quite unknown, their attacks were small and simple. Yusuf wanted an Islamic government but achieving that politically in a nonviolent way (ICC, 2014: 9). They turned to the Al-Qaeda in the Islamic Maghreb (AQUIM) terrorist group, got support mainly with financial aid, by AQUIM'S leader and became a jihadist terrorist group. One attack, that gave Boko Haram international attention, was suicide attack on a United Nations (UN) compound in Abuja in 2011 (Pham, 2016: 6).

Since the summer of 2009, northeastern Nigeria has struggled with numerous terrorist attacks, many of them suicide attacks, regularly, aiming against the Nigerian government and its democracy. The three northeastern states, Adamawa, Borno, and Yobe have a majority of Muslims and were targeted most. Other states were also hit, but they also dealt with people fleeing from the conflict, that they took local government resources and budgets away (Adelaja and George, 2019: 3).

Boko Haram aims to destruct selectively. They destroy assets, infrastructure, and agriculture. At the same time, they attack government storage facilities, fertilizer factories, agricultural input, transport systems and farms' (Adelaja and George, 2019: 185), which they attack for their use and survival.

In 2012 the group got more power and became internationally recognized as a militant group that can build and use bombs. Boko Haram built an international network with other African Islamic groups and was able to expand to the neighboring countries, Niger and Cameroon. The militants attacked prisons to release the prisoners, destroyed government buildings, hospitals, and burned down schools, forcing students out of education. By mid-2013 Boko Haram has controlled several local governments, having de facto authorities in these regions. In 2014 the Boko Haram insurgency hit its height. In the first half of the year, they killed at least 2053 civilians in numerous locations, almost daily attacks on marketplaces, churches, and residential areas. One of the most infamous attack was the kidnapping of 2776 girls (Chibok girls) in a school in Borno state (Human Rights Watch, 2014). In mid-2014, the fighters had enough money and resources to go into offense, executing people in public and expand successively. By then they were able to occupy approximately 26-27 local governments. Most of the occupied regions were in a rural area, where agriculture is the livelihood of the population, hereby agricultural land was destroyed (Pham, 2016: 9-10; Adelaja and George, 2019: 186).

In 2015 Boko Haram showed weakness and the Nigerian army and government reclaimed the zones that were taken over. Nigeria declared victory over Boko Haram quickly. The group has had internal struggles and spilt into two factions. One faction pledged allegiance to the Islamic State (IS), turning into the Islamic West Africa Province (BBC, 2015; Anao, 2020). The number of attacks and fatalities has dropped, but in 2017, now being two groups, attacks have gone up again and the Nigerian government is continuously challenged (ACLED, 2019a; Anao, 2020: 7).

2.2 Conceptual and Empirical Framework

2.2.1 Climate change as a driver of food insecurity

Climate change is defined as any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity' (IPCC 2001: 2). Climate change has turned into a global issue and has worsened in recent times.

It is now considered a climate crisis and threatens the agricultural production due to higher and more inconsistent temperatures as well as the variation in rainfall patterns and extreme events, such as droughts and floods, occurring more often (Ojo and Adebayo, 2012: 211; Ogbo et al., 2013: 221). With this change, researchers decided to study the relationship between climate change and food security. Studies were done concerning one single country, several countries, or simply regions. Most of the research has been conducted through surveys, direct observation, and weather data. They often use a

modeling approach, because they often predicted future scenarios (Zewdie, 2014; Berhanu and Wolde, 2019; Wossen et al., 2018; Fadjumdjum et al. 2019). Researchers agree upon several impacts that climate change already has or will have on food security: on the cultivation and crop yields, as well as on biodiversity.

Climate change affects the first aspect of the food supply chain most. Food production starts with crop growth and cultivation. These are strongly affected by climate variability and therefore especially the agricultural sector is hit by climate change (Jung and Kunstmann, 2007; Wossen and Berger, 2015). In Iran for example impacts, the decline of water resources and precipitation, warmer temperature, and higher CO2 emissions will have on crop growth and food production. Their findings were similar to the majority of research on food security that: food production depends on a steady climate and enough clean water resources.

Aside from food production, climate change also restrains people from having food available and access to it. Extreme weather events can damage food storage. When it gets warmer, air conditioning and refrigeration is needed, which can get expensive, and sometimes there are problems with electricity. If it does not work, the harvested food get expensive, and sometimes there get ruined or no longer be healthy to eat (FAO, 2008; James, 2010). Even though most researchers argue that climate change negatively affects agriculture, some studies have found a positive correlation between global warming and agriculture. This research focused on industrial countries and less on developing countries.

Climate change also forces people to leave their homes, which makes them vulnerable to food insecurity. Internally displaced persons (IDPs) are often forced to leave because of climate change and conflict, two of the three drivers reviewed here.

McGregor (1994) addressed the nexus of climate change, forced migration, and food insecurity because already in 1994 there have been many involuntary population displacements due to climate change. Food is one of the most vital needs in displacement camps, where a lot of the IDPs have to live in for many years. They have limited access to it and because they mostly depend on aid that is not always given and most likely they are not able to consume the amount and diversity needed. Thus, they increase food insecurity in a country (McGregor, 1994; Mooney, 2015).

As this section shows, climate change affects food security in various ways. It mostly affects people's livelihoods through food production, people live food insecure because there is less food available or the available food does not have enough nutrients. This leads to people not being able to access food. Most researchers asserted that climate change led to food insecurity. Therefore, it is worth it to explore how climate change has led to food insecurity in Nigeria.

2.2.2 Economic development as a driver of food insecurity

Previous literature suggests that the economy influences food security. Economic growth is one of the highest variables to measure the economy and can be closely connected to food security. Studies by several scholars provide proof that the better the economic growth is, the more people are likely to be food secure (Warr, 2014). Hence a weak economy or an economic crisis can lead to food insecurity in a country (Tawodzera, 2011; Musenwa, 2015; FAO et al., 2019). Most research has been conducted in developing countries in Africa because especially developing countries might have thriving economic growth, but at the same time are vulnerable to an economic crisis, because they are often low-income countries, countries in conflict and the countries that are hit most by climate change. All this increases the vulnerability of a population (FAO, 2019: 59).

For the food security status of a household, the economic situation of the individual is significant as well. Many researchers analyzed factors in the field of economic development and food security. Being unemployed puts people into poverty and poor people usually depend on the market to obtain food.

They spend a higher percentage of their income on food and consequently suffer more likely from food insecurity (Etana and Tolossa, 2017: 64). A lot of other literature argues that unemployment, in particular long-term unemployment, does not only result in people spending less money on food but also causes people to change their diet. Evidence showed that they bought cheaper and less healthy food, which in turn impacted the quality of the daily calorie intake. Other studies also found that consumption pattern change when one gets unemployed (Leichchenko and Silva, 2014: 540). Therefore,

unemployment can lead to food insecurity on the individual level.

Food prices are another indicator leading to insecurity (Herte et al., 2010; Smith et al, 2017). Global food price drops or rises hit especially countries with an uneven trade balance. When a country depends on exporting agricultural goods or minerals, they are more vulnerable to global price volatility (FAO, 2019: 66).

As mentioned above, most scholars argue that often developing countries are affected by economic crisis. However, all countries can be affected by a sudden global economic shock. Especially the 2008 financial crisis and the recession that followed negatively impacted several countries in the Global North. Davis and Geiger (2017) analyzed the demand for food aid in Europe after 2008. They argue that the need for more food aid represents higher food insecurity. They found that a rise in food aid and led to a more food insecurity after 2008. Griffith et al. (2013) have, on the other hand, examined the food expenditure of people in the UK and concluded that after 2008 there was a significant change in what people bought. Further studies have also shown identical results in studies covering developing countries (Browning and Crossley, 2009; Huang et al. 2016). The economic situation of people affects their state of food security. Hence it does not matter whether a country is in the Global North or Global South, an economic crisis can hit every country.

2.2.3 Violent conflict as a driver of food insecurity

The FAO (2017) has asserted that conflict-affected countries have on average higher rates of food insecure people than countries not affected by conflicts. Violent conflicts can have short-livelihoods.

There are several ways where violent conflicts affects food security. However at first, it has to be mentioned that the effect conflict has on food security depends on what kind of conflict it is, considering that ‘measuring and categorizing conflict is not straightforward’ (Martin-Shields and Stojetz, 2019: 151). Studies showed that the outcome depends on the type of conflict.

Literature shows that conflict often occurs in rural areas, areas that have a lot of agriculture (FAO, 2017: 44). Consequently, violent conflict can especially impact agricultural production. On the other hand, food production can decrease. Cultivation is interrupted, where people depend on agriculture. Often fields were ruined by bombs, or it was simply unsafe to work on them (Baumann and Kuemmerle, 2016). Other times farmers abandoned their lands because farmers or workers were killed, people were forced to leave, fled voluntarily, or were involved in the fighting. This can lead to a labor shortage and therefore fewer people harvesting which then can lead to crop yield loss and food insecurity (Suthakar and Bur, 2008; Eklund, et al., 2016; Adelaja et al., 2019: 184). On the other hand, agricultural productivity can increase and have a positive impact on the food security situation in conflict areas. Agriculture can be an important income source for the militants. Jaafar and Woerz (2016) analyzed the agricultural productivity of the Islamic State in their controlled area until 2016. Their findings were that it is an important source of domestic food security.

Whereas the scholars above agreed that conflict impacts food security, Adelaja and George (2019) came to different findings. Their focus was also not on food security at all. They collected data from household surveys and the Armed Conflict Location & Event Data Project (ACLED). When analyzing the data, they found that the amount of land that can be harvested does not decrease when the number of attacks goes up. Although at the same time they did find that a higher intensity of the conflict harms the output of agriculture (Adelaja and George, 2019).

Food access to households and individual food consumption has also been researched by people. A reduced production can lead to a decline in food availability which can cause a reduction in market access to buyers. An example of long-term impacts of food insecurity due to a conflict are studies that focused on the long-term effect of children that were exposed to conflict at an early age (Martin-Shields and Stojetz, 2019; George et al., 2020).

The researchers often used the differences-in-differences approach. They analyzed one region where conflict occurred and one where there was no conflict and compared the results. Bundervoet et al. (2007), for example, studied the impact of the civil war in Burundi on children’s nutritional status over time. They used data from household surveys in civil war affected and non-affected areas. According to

their study, children that were born in regions that at the time of birth experienced violence and had no access to food, due to the disruption of the agricultural production, had lower height-for-age z-score (HAZ) and were therefore not developing the same way as other children. Minoiu and Shemyakina (2014), as well as Arcand et al. (2015), based their research on Bundervoet et al. and did similar studies in Cote d' Ivoire and Angola. With the same approach, their findings are similar: Children who were exposed to these conflicts while born or in their early childhood had a lower HAZ than others.

Lastly, other scholars focused on the impact on IDPs. As above mentioned, conflict can lead to people fleeing and as noted, they are especially vulnerable to food insecurity. The outcomes are the same as when there are IDPs due to climate change. However, these scholars show that not only climate change can lead to internal displacements, also conflict can be a reaon (Tasime et al., 2013).

As this section demonstrates, violent conflict can impact food security directly and indirectly. Direct impacts are mostly on the national level and indirect impacts mainly on the individual level. For example, as the prior section of economic development on food security shows, unemployment, and reduced household expenditure can impact the household at individual level, although not every scholar supports this, it can be said that conflict can have an impact on all different levels of food security.

The literature review shows that these different drivers can lead to food insecurity but are also intertwined. Despite the wealth of literature and the diversity of studies, there is rarely literature disagreeing with the fact that these drivers impact food security in some way. Most scholars argue that the drivers they analyzed lead to food insecurity, but they also state that other drivers have to be acknowledged as interfering variables. They overall agree that each of the drivers can lead to food insecurity, in different parts more than in others. Therefore, when all the drivers are occurring in one country, this country's population is more likely to be severely food insecure.

3. Methodology

This study adopted a mixed-methods approach, that is qualitative and quantitative methods approach. Quantitative data were retrieved from several data-bases that give measurements on food security, climate change, economy and conflict. Qualitative data were drawn from reports and interviews that were conducted with Nigerian NGOs.

The statistical data on the climate is retrieved from the Climate Change Knowledge Portal, which is part of the World Bank Group. Even though they do offer metadata information, it is not exactly clear where data come from. As per economic development, the secondary data is taken from two different sources: The World Bank and UN Contrade Database. The World Bank shows a pool of statistics covering several areas from many different sources. This database is publicly accessible and is updated regularly. The indicators itself do not only come from the World Bank. The metadata with its source for every single indicator can be downloaded on their website. Concerning violent conflict, the primary data utilized is interview method. Other methods of data analysis include the ACLED database, and IDMC sources.

4. Analysis

The following chapter shows the analysis of the study. With the help of all the data described in the previous sections, this section analyzes the said data. Previous scholars mostly approached their articles by first conceptualizing and analyzing food security (e.g. Martin-Shields and Stojetz, 2019). Here it also seems appropriate to analyze the food security situation using the three drivers as already stated.

4.1 Food security situation in Nigeria

As shown and explained in previous sections, food security in Nigeria is analyzed through data from FAO database, the Nigerian GHS as well as interviews. This section shows evidence that there is a significant amount of people facing food insecurity in Nigeria.

All conducted interviews with the NGOs have agreed that food insecurity is visible all over the country. According to all of them, the food security situation worsened over the past years. They mentioned that since the Covid-19 outbreak it has gotten even worse and it will not get better in the next few years, but

there are no evidential facts about it yet.

Using both figure 1.1 1.2 and a graph, figure 1.1 shows how food security has changed over time. Each measuring period has been conducting its data in the same way and can therefore, be compared. It indicates that there has been quite a change since around 2008. As shown in the figure from 2008-2010 the percentage of undernourishment has been constantly on the rise. At first, it is slowly rising, but looking at the years from 2014-2016 and 2015-2017, there was a drastic rise, with an increase of almost two percent from 9.6% in 2014-2016 to 11.5% in 2015-2017 and after this again another two percent to 13.4% in 2016-2018. Due to the fact that these numbers are always only a three-year average, it can be said that 2014-2016 was another significant turning point in the Nigerian food security situation.

4.1.1 Climate Change data

As much of the literature shows, climate change is one of the causes of food insecurity, and is therefore an independent variable to analyze. To answer the sub-question on what impact climate change has on food security in Nigeria, data that shows the trend in climate variability seems appropriate. This can be the trend of rainfall, the occurrence of rain and drought days, or mean temperatures. Descriptive data that is available on trends in climate variability is the trend of yearly mean temperature and rainfall pattern. Further data that can help get to the connection to food insecurity is data on internal displacement which shows how many people fled due to climate change. Further indicators used in the analysis are the interviews. Interviewees were asked about the experience of monthly rainfall change and droughts affecting cultivation. Secondly, the United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) publishes situation reports that give information about certain strong floods and its impact on people's livelihoods in the areas hit.

4.1.2 Economic Development Data

Previous literature argues that whether somebody lives in food security is often also influenced by the countries' current economic performance. Thus, economic development can be a catalyzer for food insecurity and is one of the three independent variables in this study. To analyze the economic development as a cause for food security situation, data has to provide information about the economy in Nigeria and must be compatible with the given food security data.

The economy can be measured through multiple indicators. In general, the GDP can be a relevant summary of the overall economic performance (FAO, 2019). Therefore, GDP and economic growth are the first indicators to use in the analysis . Further indicators to understand the economic situation in Nigeria and how it has evolved across time are the trade balance and products that are predominantly exported. Moreover, food inflation and the unemployment rate are used as secondary data, qualitative data and primary source, that contributes to the analysis are the interviews.

4.1.3 Violent Conflict Data

According to existing literature, the presence of conflict plays an important role in how food insecure somebody is. Thus, a third independent variable chosen to analyze in this study is the Boko Haram conflict in Northeast Nigeria. To measure the food security situation in Nigeria and its relation to the northeastern conflict, especially interviews are good as a primary source. To get statistical data that can be compared to the FAO and Nigerian GHS data is data about the number of conflict and the fatalities that happened over the years since the Boko Haram insurgency began. As Adelaja and George (2019) state in their study that longitudinal data for comparison is limited. I found that this is true and it was difficult to get the right data for this analysis.

However, there are several databases available that measure conflicts. Previous literature that used quantitative data usually either worked with the UCDP or ACLED.

After consideration of what database is best to the Boko Haram Insurgency, ACLED was chosen. This database offers information on different kinds of violence in real time, broken down into the date and place of the event, the type of violence and the actors involved (ACLED, 2019). Including the exact source for each for each event and even quotes the source to show that it was precisely taken from there.

According to ACLED, their data is collected by experienced researchers. However, it is

primarily taken from secondary sources, but to make sure that the data is accurate and not biased, ACLED uses a variety of sources and does not only trust one source.

5. Conclusion

The study aimed to answer the question: What factors impact food insecurity and jeopardize the food security situation in Nigeria? To answer this, the whole study was focusing on the three factors that, according to previous literature, seemed to influence food security the most: climate change, economic development, and violent conflict. The concept of food security with its four dimensions was the concept often used in the existing literature and previous research showed that each of the drivers influences the different dimensions in some way. The findings demonstrated that these factors can in fact, lead to food insecurity.

The analysis of this study examined these determinants to see how they influence food security and whether they lead to food insecurity in Nigeria. Data was taken from several sources, statistical databases as secondary sources and interviews with NGOs as primary sources. Since the data was rare, the conclusions had to be drawn cautiously. The results of this analysis, however, do confirm the findings in previous research.

According to previous literature, the drivers are intertwined and do not only affect food security, but also impact each other. This study has also found that it cannot be said that either of the drivers alone could have led to food insecurity in Nigeria. In this case It is also more likely that they all influence each other.

Climate change and the Boko Haram conflict for example can lead to a lack of food production, which can lead to fewer labor needs, that on the one hand leads to unemployment, then again makes it hard for people to buy food, then facing a food shortage. On the other hand, less food production can lead to more dependence on food imports. A bad economy again can lead to more conflict and so on. It can be said that Nigeria is currently in a vicious circle and it is hard to achieve stable food security. Because Nigeria is affected by all three drivers, it is likely that food insecurity occurs, with what the literature review agrees.

Therefore, the research question can be answered by saying that all three different determinants can jeopardize the food security situation in Nigeria. Furthermore, they all impact people's livelihoods in different years, keeping some people continuously in a state of food insecurity. Moreover, the study found that even though all drivers impact all dimensions of the food security concept, they do influence each of them in other ways. While, according to this study's findings, climate change and the Boko Haram insurgency primarily impact food availability, the economy affects the food access dimension foremost. Especially the interviews have brought the focus on food production in general, meaning that the food availability dimension is often the first dimension that is hit. When there is less food available, and a country depends on food imports, it can lead to a lack of the other dimensions, meaning to many people not having access to food or not having enough food diversity. Because all drivers impact the different dimensions, the last dimension of food security is not met. There is no food stability, and it takes time to achieve the dimensions.

This study also shows that food security depends not only on how a country, specifically Nigeria performs, but also how other countries deal with issues that can reflect back to a country like Nigeria. Globalization has made it hard for such a country to achieve food security by itself.

References

Abdulkadir, A; Maryam Lawal A. and Mohammed, T. I. (2017). 'Climate change and its Implications on human existence in Nigeria: a review'. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, (10:2), pp. 152-158.

ACLED (2019). Journal of Conflict Location & Event DATA Project (ACLED): User Quick Guide

ACLED (2019a). ACLED Methodology for Coding Boko Haram Factions. Online: http://acled data.com/acleddatanew/wp-content/upload/dlm-uploads/2019/01/ACLED

Adelaja, A and George, J. (2019). 'Effects of coding on agriculture: Evidence from the Boko Haram insurgency'. World Development, (117), pp. 184 – 195.

Amao, O. (2020). 'A decade of terror revisiting Nigeria's interminable Boko Haram

Insurgency'. Security Journal (33:1), pp. 1-19.

Arcand, J. L., Rodella, A. S. and Reger, M. (2015). 'The Impact of Land Mines on Child Health: Evidence from Angola'. Economic Development and Cultural Change. (63:2), pp. 249- 279.

CCKP (2018). Methodology of the climate change knowledge portal. Online: http://climate knowledgeportal.worldbank.org/themes/custom/wb-cckp/t-

Ekland, L., Pearson, A., and Plesjo, P. (2016). 'Conpland changes in times of conflict, reconstruction, and economic development in Iraqi Kardistan', Ambio, (45), pp. 78-88

FAO (2008). Climate Change and Food Security: A Framework Document (Rome; FAO).

FAO (2009). Declaration of the World Food Summit on Food Security (Rome: FAO).

FAO (2017). Northeastern Nigeria: Situation Report- January 2017. Online: http://www.fao. Org/fileadmin/user-upload/FAO-countries/Nigeria/ToR/FAO-Situation-Report-Northeastern-Nigeria-January-2017pdf (Last accessed: 31/03/2020).

George, J., Adelaja, A. and Weatherspoon, D. (2020). 'Armed Conflicts and Food Insecurity: Evidence from Boko Haram's Attacks'. American Journal of Agricultural Economics, (102;1), pp. 114-131.

Hertel, T. W., and Rosch, S. D. (2010). 'Climate change, agriculture, and poverty', Applied Economic Perspectives and Policy, (1:3), pp. 355-385.

IPCC (2001). 'Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge: Cambridge University Press).

Kah, H. K. (2017). 'Boko Haram is Losing, but so is Food Production: Conflict and Food Insecurity in Nigeria and Cameroon', African Development, (42:3), pp. 177-196.

McGregor, J. (1994). 'Climate change and involuntary migration: Implications for food security'. Food Policy, (19:2), pp. 120-132.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECTS ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NIGERIA

DR. CHUKWUEMEKA GODSON EME, PhD
Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria, Jabi- Abuja, Nigeria

Abstract
Climate change has become a great challenge to our generation and its impact is felt in almost every society in the world. Nigeria is likely to be the one of the most negatively impacted countries in the world as a result of climate change. Nigeria is plagued with many ecological problems of various dimensions. Whilst the people living in the southern part of the country are being ravaged by flood and gully erosion, their counterparts in the north are contending with the menace of desertification, deforestation and drought, among others. These environmental challenges have direct and indirect effects on the social and economic activities of the societies. The paper reviews the potential impact of climate change on Nigeria's economic and socio-cultural developments. Secondary data were used and descriptive research design was adopted. The findings indicates that many sectors of the Nigerian economy appears to be directly vulnerable to the impacts of climate change such as manufacturing, insurance, transportation, offshore oil and gas exploration and thermal and hydro-power generation and transmission. Other vulnerable sectors are those dependent on climate-sensitive resources like agriculture, fishing, forestry, renewable energy and eco-tourism. These cumulative effects will impact the GDP negatively. On the basis of the findings, the following were recommended; there should be policies toward mitigation and toward developing technology that can improve productivity and are environmentally friendly, irrigation should be encouraged, NIMET should be well equip to enable it function effectively, government agencies and NGO should sensitize the people about the danger and had to work towards a sustainable environment.
Key Words: Climate change, Global warming, Economic development, Sustainable development, Nigeria

1. Introduction

Climate change has become a great challenge to our generation and its impact is felt in almost every society in the world. Nigeria as a developing country with a population of about 160 million is likely to be adversely impacted by climate change due to the vulnerability and low coping capability. Evidences have shown that climate change impacts on Nigeria arises from various climate change related causes experienced due to the increase in temperature, rainfall, sea level rise, impact on fresh water resources, extreme weather events, flooding, drought in the north and increased health risk.

Climate change is an interminable environmental threat of the 21st century which the world is currently experiencing and seeking measures to adopt and mitigate its impact. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC) defines climate change as a change which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere over comparable time periods. Climate change is wreaking havoc on the economies of several individuals, societies, and countries, including Nigeria. This has detrimental effect on a huge number of farmlands and the means of sustenance of persons, increasing poverty and leading to food insecurity, migration, conflicts and public health concerns. As poverty becomes severe, the poor become more reliant on unsustainable development strategies. Thus, unsustainable development strategies such as fossil fuels add to global warming. Global warming therefore exacerbates problems in underdeveloped countries, particularly in sub-Saharan Africa, which lacks the capacity to adapt to climate change. As greenhouse gas emissions cover the Earth, they trap the sun's heat, causing it to warm at an unprecedented rate; hence, global warming and climate change occur.

As one of the most pressing environmental challenges and global crisis affecting civilization today, climate change is becoming a significant global concern, particularly in Africa and Nigeria, where rain-fed agriculture is used. One fossil-fuel-based economic system has been altering the world for many

years. Sub-Saharan Africa, in general, and Nigeria, in particular, have been recognized as the region most likely to be affected by climate change, including increasing heat, erratic rainfall and natural catastrophes, as a result of global warming. The failure of the international leaders' meeting in Copenhagen to enhance aspirations for a healthy climate saddened the region.

The gathering, a worldwide meeting held in December 2009 to assess progress toward the 1997 Kyoto Protocol's aim and design a new direction for addressing climate change challenges, did not yield a satisfactory result (Muller, 2010). Co2 emissions and the building of greenhouse gases in the atmosphere have changed weather and climate patterns; sadly, those responsible for climate change are rarely held accountable. Climate change has been exacerbated by traditional agriculture practices such as deforestation (tree felling for firewood and cooking energy) and bush burning as a farming practice.
Despite the fact that man and nature are closely linked, growing industrialization has accelerated the carbonization of the biosphere, leaving mother Earth with a negative carbon imprint that is redefining our symbolic relationship with nature. The issue of slow accumulation of dangerous gases in the atmosphere is central to the issue of anthropogenic carbonization of the biosphere and the bio-geophysical interests of world powers, which influence the nature and extent of all socioeconomic and political interactions on climate change (Sadiq, 2013).
Nigeria is vulnerable to climate change. Under the A2 Scenario of the Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC's) Emissions Report (National Adaptation Strategy and Plan of Action on Climate Change for Nigeria (NASPA-CCN, 2011), it is projected that Nigeria will experience a temperature increase of 0.04 Oc per year from 1981/2000 until the 2046/2065 period, rising to 0.08 0c per year after 2060. The scenario also projects wetter conditions in the southern part. The drier conditions are expected to be most severe in the north-eastern part of the country. For the 2046/2065 period, rainfall is projected to increase by an average of 15 on annually rate of 7.5 cm annually in the north (NASPA-CCN 2011: 10). Increased climatic risks, notably floods and droughts, are typically the result, wreaking havoc on food supplies and the economy. Climate change and global warming would wreak havoc on Nigerian livelihoods, including crop production, livestock production, fisheries, forests, and post-harvest activities, if they go uncontrolled.
The impact of these changes, therefore without adaptation could cost between 6% of Nigeria's GDP by 2050, amounting to between USD 100 billion and USD 200 billion. The government has put in place N460 billion to enable them fight the menace of climate change and global warming (Department for International Development (DFID, 2009: 10).

1.1 Objective of the Study
The main objective of this study is to examine climate change in Nigeria, looking at its impact on the socio-economic and cultural sustainable developments of Nigeria. Others include, examining climate governance and policies as response to climate change in Nigeria.

1.2 Methodology
The research adopted a descriptive research design. It dealt exhaustively on the impact of climate change on Nigeria's socio-economic and cultural development. The research made extensive use of secondary sources of data from textbooks, internets sources and newspapers.

2.0 Conceptual Clarifications
2.1.1 Concept of Climate Change
There are many different ways to measure climate change. The International Panel on Climate Change says that it's a 'change in the state of the climate' that can be found by looking at how its properties change over time, usually for decades or more. Any change in temperature over time, whether caused by natural variability or human activity, is called climate change. ''Climate change is defined as ''a change in the climate that is caused by human activity and that is in addition to natural climate variability that has occurred over the same time periods'' (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC, in IPCC, 2007). ''A change in the statistical distribution of weather over long periods of time is called ''climate change''. Wikipedia says that ''climate change'' is a change in the weather

over a long period of time (Wikipedia, 2009). Wikipedia (2009) says that global warming is ''the rise in the average temperature of the Earth's surface, air, and oceans since the mid-20th century and its expected continuation''. This makes it clear that what is called climate change is actually the result of global warming. Climate change is a problem or phenomenon that has come about because there has been a high rise in the concentration of greenhouse gases (GHGs) made by humans (Spore, 2008). Natural resource depletion, ozone layer depletion, and global warming are some of the most important things about climate change.

These traits are more self-reinforcing than other traits. A big problem in Africa when it comes to climate change is how many different stressors, like HIV/AIDS spreading and the effects of economic globalization and resource privatization, work together with climate change to make things worse.
Climate change has arisen as a new component, contributing to increased underdevelopment. There's a danger that Nigeria's climate change crisis may be exacerbated by the lack of a robust emergency and development policy, further complicating problems and increasing dependency and underdevelopment. Thus, the subject of climate change in Nigeria must be viewed in conjunction with developmental challenges, poverty, and unemployment. Nigeria has been seen as a weak, fragile state that has failed to put in place strong systems to help its citizens who have been affected by global economic woes. Every aspect of development in Nigeria is vulnerable to climate-related stressors. Nigeria's natural capital, including land, forests, landscapes, water and fisheries) and physical capital, including cities, infrastructure, and other kinds of capital are highly susceptible to the impact of climate change. Climate change affects the ability of natural capital, which is the main source of income and livelihoods for majority of Nigerians, to deliver its wide range of products and services including food, timber, and the regulation of water cycle. It's worth highlighting for instance, that economic fights are inextricably linked to social and environmental aspects of man's interaction with the climate system (Edeh, Eme and Nnoli, 2014).

2.1.2 Concept of Global Warming

The continuous rise in temperature of the planet is really upsetting. The root cause for this is global warming. Global warming begins when sunlight reaches the Earth. The clouds, atmospheric particles, reflective ground surfaces, and surface of oceans then sends back about 30% of sunlight back into the space, whilst the remaining is absorbed by oceans, air and land. This consequently heats up the surface of the planet and atmosphere, making life feasible. As the Earth warms up, this solar energy is radiated by thermal radiation and infrared rays, propagating directly out to space, thereby cooling the Earth. However, some of the outgoing radiation is re-absorbed by carbon dioxide, water vapour, ozone, methane and other gases in the atmosphere and is radiated back to the surface of the Earth.

These gases are commonly known as greenhouse gases due to their heat-tripping capacity. It must be noted that re-absorption process is actually good as the Earth's average surface temperature would be very cold if there was no resistance of greenhouse gases. The dilemma began when the concentration of greenhouse gases in the atmosphere was artificially increased by humankind at an alarming rate since the past two centuries. As of 2004, over 8 billion tons of carbon dioxide was pumped, thermal radiation is further hindered by increased levels of greenhouse gases resulting in a phenomenon known as human enhanced global warming effect. Recent observations regarding global warming have sustained the theory that it is indeed a human enhanced greenhouse effect that is causing the planet to heat up. The planet has experienced the largest increase in surface temperature over the last 100 years. Between 1906 and 2006, the Earth's average surface temperature augmented between 0.6 to 0.9 degrees Celsius. Millions of pounds of methane gas are generated in landfills and agricultural decomposition of biomass and animal manure. Nitrous oxide is released into the atmosphere by various nitrogen-based fertilizers including area and diammonium phosphate and other soil management utilizations. Once released, these greenhouse gases stay in the atmosphere for decades or even longer. According to Intergovernmental Panel on Climate Change (ICCC), carbon dioxide and methane levels increased by 35% and 148% since the industrial revolution of 1750.

2.1.3 Impact of Climate Change on the socio-economic development of Nigeria

Climate change has been described as a statistical variation that persists for an extended period, typically for a decade or longer. I includes shift in the frequency and magnitude sporadic weather events as well as the slow but continuous rise in global average surface temperature (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001). The German advisory council on climate change noted that climate is a threat already having substantial impact on human beings and the natural eco-system both in developed and developing countries but at varying degrees (German Advisory Council on Global Change (WBGU, 2003). For the developed countries, the impact of climate change has been perceived to be less severe due to natural advantage, high adaptation techniques, high technology, mechanical agricultural system and wealth status. These factors have enabled the developed economies to curtail the adverse effects of climate change.

For developing countries like Nigeria, the impact of climate change is of great importance given the high temperature level, poor adaptation capacity and lack of early warning system. Apart from the above, climate change affects economies whose economic activities are natural resource sensitive such as agricultural activities. Unfortunately, some aspects of the existing literature shows that climate change may lead to significant reductions in agricultural productivity in developing countries (McGungan et al., 2002). Indeed, the effect of climate change on agricultural activities can be viewed from various aspects. Climate change affects the distribution of rainfall and temperature during a year and this determines crop yields especially those crops cultivated under rain-fed conditions (Thurlow et al., 2009). Excessive rainfall leads to destruction of arable land, impairment of cultivated crops, increased growth of weeds and greater post-harvest loss while a significant reduction in rainfall may culminate in drier land, reduction in water level in streams and rivers, increase in famers' search for water for irrigation and consequently resulting in invaluable man hour losses and reductions in crop yield (Ozor, 2009). Climate change also affects livestock production due to reduction in the available pasture land, reduction in surface water resources for animals, increase in salinity of water resources for animals, increase in salinity at watering points due to increased temperature and evaporation in the face of reduced rainfall. This implies that there would be a decline in the production of livestock, resulting in a reduction in the supply and availability of annual protein including meat, egg, milk and other animal produce such as hides and skins (Ozor, 2009).

In Nigeria, climate change also affects forestry due to erosion and excessive wind thereby resulting in decline I forest produce such as wood and cane. Consequently, it leads to reduction in forestry produce and low income, as well as an increase in the costs of building and furniture materials. Onuoha (2009) estimated the cost of deforestation and losses in non-timber forest products in the last 5 years in Nigeria at N120 billion per year which is equivalent of 1.7% of gross domestic product (GDP) in 2003. Obviously, climate change portrays a potential threat to the composition of agricultural output on agricultural output in particular and to aggregate national output in general.

In 2012, Nigeria adopted its Climate Change Policy Response and Strategy (CCPRS) to ensure an effective national response to the multi-faceted impacts of climate change. The main goals of the CCPRS include: Implementation of mitigation measures that will promote low carbon as well as sustainable and high economic growth, enhancement of national capacity to adapt to climate change, raising climate change related science, technology and research and development to a new leve.l

This will enable the country to better participate in international scientific and technological cooperation on climate change; significantly increase public awareness and involve private sector participation in addressing the challenges of climate change; strengthen national institutions and mechanisms (policy, legislative and economic) to establish a suitable and functional framework for climate change governance. The National Adaptation Strategy and Plan of Action for Climate Change Nigeria (NASPA-CCN) describes the adaptation priorities for future action. The NASPA-CCN vision is a Nigerian approach in which climate change adaptation is an integrated component of sustainable development, reducing the vulnerability and enhancing the resilience and adaptive capacity of all economic sectors and of all people to the adverse impacts of climate change, while also capturing the opportunities that

arise as a result of climate change.
The impact of climate change is numerous. The variations in rainfall, temperature, drought, and humidity associated with the science of climate change in Nigeria affect climate dependent sectors. It affects the socioeconomic and political landscapes of countries as well as the relationship across nations as a trans-boundary phenomenon. As a result of its features which are life threatening; the rising sea levels, flooding, starvation, desertification, it is recognized as a threat to human existence. Certain factors such as HIV/AIDS, failing commodity prices, and in some areas have significantly weakened the ability of poor Nigerians to withstand shocks from extreme climate events.
Climate change puts our food and waste supplies at risk, as well as our health, security, stability, and property. Different countries' economic conditions and institutional infrastructure have an effect on their vulnerability to climate change. Certain countries particularly those with affluent economies, exhibit a high degree of resilience, while others, particularly those in sub-Saharan Africa with less favourable economic and institutional conditions, are more fragile. Indeed, because developing countries are frequently exposed to a variety of climatic and non-climatic stresses, their failure to collect reliable data on the resulting consequences exacerbates the consequences.
With climate change affecting highly populated locations in Nigeria like Lagos state, the number of environmental refugees displaced by natural disaster will increase. Forced migration therefore becomes one of the effects of climate change in human settlements, industries and businesses.

Flood catastrophes in 2010 affected almost 250,000 people in Nigeria (BRNCCC 2011). In 2012, the situation became worse as the country was hit by high incidence of flooding; 1.3 million people were affected and over 400 people killed and in Makurdi, the flood was much that crocodiles were found in the streets of the town. These incidence were blamed on climate change thus making the Director General of the National Emergency Management Agency (NEMA), Muhammad Sani-Sidi, to say that, 'We are now living witnesses to the reality of climate change and global warming where areas considered dry land in the Northern part of the country witnessed excessive and torrential rainfall while some communities in the South were also submerged'' (Ezigbo, 2012). Rainfall patterns across the country have changed dramatically over the years, with most regions now seeing late onset rainfall as opposed to only a few areas in the northeast, northwest, and southeast (BNRCC, 2001).
Climate change affects human health and survival creating a major concern as well as the health and survival of other species of flora and fauna, and the environment. The World Health Organization (WHO) estimated that at least 150,000 deaths each year could be traced to the outcome of climate change. Moreover, the figure is expected to double by 2030 with connections to flooding and water-related diseases (WHO, 2021). Studies have claimed that climate change-related torrential flooding has led to disease outbreaks in various regions of the globe (Lislie, 1995; Rose et al., 2000). Consequently, the Nigerian population could be exposed to such threats.
Another area affected by climate change is source of livelihood. Livelihood is a means of securing the necessities of life. The effect of climate change threatens the means of sustenance of people. With the increased threats to productivity, farmers' income will diminish and their ability to meet household needs (food, income, etc) will be difficult (Ozor, 2009). Oceanic acidification and increase in surface water temperature especially around the coast affects fish stocks and as a result threaten the livelihood of small-scale fishing communities in the area (IPCC 2007). This eventually will further deepen the vulnerability of the poor.
Climate change could also engender resource conflicts. In Nigeria, resource conflicts worsen given climate change as a result of the scarcity of resources. Population growth and the resulting increases in supply and demand for resources increase competition for scarce food, water, oil, and other resources. For instance, the Fulani herdsmen and farmers in Nigeria compete for grassland and water resources thereby engaging in violent conflicts.

Aside from the effects of climate change visible in the nature of glaciers, vegetation, the core, and other exotic indicators, sea level variations are especially important in our assessments of Nigeria's socio-economic development. Some Nigerian observers have pointed out with some justifications that Nigeria is doubly vulnerable to climate change: heavy rainfall, flooding, soil erosion, and submergence of land

in coastal areas as well as loss of wetlands (Ekott, 2009). Climate change in the South-South zone of Nigeria manifests primarily in increased precipitation, widespread flooding risk, ocean encroachment, increased deforestation, psychosomatic illnesses caused by the excessive heat of gas flaring and sea-level rise. However, it should be pointed out that while developing countries are concerned about the effects of climate change on their population, developed countries are concerned that climate change will limit their unique habits and lifestyle. This is the irony of life.

Climate change impacts are moderated by the level of socioeconomic development of a given community and Nigeria's rather weak socioeconomic development is heightening the severity of the impact; further limiting the country's capacity to respond to emerging challenges (Adesina & Odekunle, 2011). Without serous interventions, including, adaptation, the impact of climate change could be greater as the century progresses. This makes it crucial for Nigeria to focus on those activities and programs that would strengthen its resilience and adaptive capacity in terms of socioeconomic development and effective management of ecosystems (Raffaello et al., 2013; United States Agency for International Development (USAID, 2018).

2.1.4 Climate Governance and Policies as Response to Climate Change in Nigeria

Awareness creation on the impact of climate change involves the effort of everyone; thus, climate change governance involves broad public participation in decision-making which is a critical condition for achieving climate-resilient development. In Nigeria, various stakeholders, (government, non-governmental organizations, the academia and private organizations) collaborate to achieve positive results in climate change management and governance, disseminating information to every local community, stating the impact of climate change on the people especially those into agriculture.

With the recognition of the impact of climate change on the socio-economic development of the country and the well-being of the populace by the federal government and other non-governmental organizations, efforts are made to manage climate-related development challenges with appropriate policy and institutional arrangements that will encourage the implementation of mitigation and adaptation actions at all levels of governance for climate compatible sustainable development. Such efforts include in 2012, the Federal Executive Council approved a comprehensive strategy policy on climate change: the Nigeria Climate Change Policy Response and Strategy (NCCPRS), a document which is an output of a national participatory and stakeholders consultative approach to put in place a well-defined national climate change response framework and implementation plan that incorporates critical elements of mitigation and adaptation, contains policy elements and short, medium and long-term national strategies that will enable the country to mainstream mitigation and adaptation into its national development efforts. This is to enable Nigeria respond effectively to the impact of climate change to reduce its vulnerability and enhance its resilience so that the national priorities of rapid economic growth, energy sufficiency, job creation, food security, transparent and accountable climate change governance will be properly addressed.

The Policy has been guiding policy decisions and led to actions in responding to climate change in the country. With the development of the NCCPRS, the global discourse on climate change has led to the adoption of new initiatives that have been domesticated to guide national response to reducing the impact and adapting to the challenge. In particular, a major basis for Nigeria's effective response to the challenge of climate change is the implementation of the 2015 Paris Agreement constitutes an important milestone in promoting the transition to a low carbon economy. Thus, the purpose of this National Policy on Climate Change is to define a new holistic framework to guide the country's response to the development challenge of climate change. As a framework document, it prescribes sector and cross-sectoral strategic policy statements and actions for the management of climate change within the country's pursuit for climate resilient sustainable development (Federal Ministry of Environment, 2021). Also, the government of Nigeria mapped out other steps to address the challenges of climate change and they include the establishment of the Department of Climate Change (DCC) in the Federal Ministry of Environment which is the focal point to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and also the Designated National Authority (DNA) for the Clean Development Mechanism.

The DCC works with other Ministries through the Inter-Ministerial Committee on Climate Change. Also taken as a measure are some development policies with clear implications for climate change adaptation: (i) Vision 20:2020; (ii) the Transformation Agenda (2011 – 2015); and (iii) Economic Recovery and Growth Programme (ERGP) (2017 – 2020). There is also the Nationally Determined Contribution (NDC) which was developed in 2015 towards the ratification of the Paris Agreement on Climate Change. Its aim is to reduce greenhouse gas (GHG) emissions intensity of GDP by 20% by 2030 relative to the emissions intensity of GDP in the base period 2010 to 2014 on an unconditional basis as well as a further 45% on a conditional basis consequent upon receiving climate finance, technology transfer and capacity building from the developed countries.

2.2 Theoretical Review

Two theoretical perspectives are particularly relevant towards our understanding of the phenomenon of climate change; namely the Anthropogenic Global Warming (AGW) hypothesis and the standard theory of externalities. The UK Met Office (1998) describes the AGW hypothesis as the first theory of climate change, which contends that human emissions of greenhouse gases principally carbon dioxide (CO2), methane, and nitrous oxide, are causing a catastrophic rise in global temperatures. The mechanism whereby this happens is called the enhanced greenhouse effect. Energy from the sun travels through space and reaches the earth. The earth's atmosphere is mostly transparent to the incoming sunlight, allowing it to reach the planet's surface where some of it is absorbed and some is reflected back as heat into the atmosphere. Certain gases in the atmosphere, called ''green-house gases'' absorb the outgoing reflected or internal thermal radiation, resulting in earth's atmosphere becoming warmer than it otherwise might be. Water vapour is the major greenhouse gas, responsible for about 36-90% of the greenhouse effect, followed by CO2, methane, and ozone. During the past century, human activities such as burning of wood and fossil-fuel as well as burning of forests are thought to have increased the concentration of CO2 in the atmosphere by approximately 50%. Proponents of the AGW theory believe that man-made crop failures, species extractions, spread of diseases, ocean coral bleaching, famines and literally hundreds of other catastrophes are fall-outs of climate change.

According to them, all these disasters will become more frequent and more severe as temperatures continue to rise so that only large and rapid reductions in human emissions will save the planet from these catastrophic events.

Like other environmental problems, climate change involves externality, for instance, the emission of greenhouse gases causes damages to other economic agents for which they are not compensated by the agent responsible for the emission. The standard theory of externalities points to one of taxation of the emitter equivalent to marginal social cost of the externalities generated by it. But where there is weak representation of those most affected, coupled with long-term horizons, a global scale major externalities, and important interactions with other market failures, then resolving the externality problem can be quite complex. Hence, while the standard theory can provide useful initial insights, there is a much deeper and more complex economic policy problem. There is a problem of intertemporal international collective action with major uncertainty and linked market failures.

2.3 Empirical Review

Empirical studies have also confirmed that climate change can have substantial impacts on the overall economy. In Ethiopia, Gebreegziabher et al. (2011) examined the economic effect of climate on agriculture productivity (GGE) model. The study observed that the impact of overall climate change will be relatively benign until approximately 2050, and thereafter worsen considerably. Further, the simulation results showed that, over a 50-year period, the projected reduction in agricultural productivity may lead to about 30% less average of climate change. Using descriptive analysis, Ozor (2009) demonstrated the processes that lead to climate change so as to enable a better understanding of the concept. The study described in details the impacts of climate change on various issues of national development such as low agricultural productivity, food insecurity, resource conflicts, unemployment, environmentally-induced migration, livelihood problems and health issues. The study also noted that these impacts are as a result of devastating effects of flooding, drought, erosion, desertification, sea level

rise, heat stress, pests and diseases, and erratic rainfall patterns, arising from climate change.

The study further suggested the need for climate policy in Nigeria, the establishment of NCCC, the development of a national framework for climate change adaptation, and the embracing of emerging technologies.
Onuoha (2009) examined the threats posed by climate change across the globe with particular reference to developing countries, where agriculture is a dominant sector and in turn depends on weather and climate. The study utilized the sustainable development model in the form of the Green Wall Sahara Nigeria Program as a strategy for greening the drought-prone and desert infested areas of Northern Nigeria. The study concluded that the challenges of climate change to economic growth and sustainable development in Nigeria require creative thinking, holistic ideas, innovative solutions and the involvement of all stakeholders. Agwu and Okhimamhe (2009) conducted two studies on the gender dimensions of climate change in North-Central and South-Eastern Nigeria. The North-Central study assessed the impact of climate change on the Zumba and Augie Communities in Niger and Kebbi states respectively. It highlighted the challenges and adaptation strategies of the selected communities. The study observed that communities had noticed climate change but failed to identify its causes. Some of the women in these communities attributed the climate change such as environmental degradation to the construction of the Shiroro dam and the resulting massive deforestation. Less scientifically, Augie women believed that the flood waters from Bakoleri and Goronyo dams which destroyed their farms and affected the health of their people were calamities inflicted by the gods. Again, the women accepted that they had contributed to deforestation in their search of the wood which led to the disappearance of many plant and animal species. Although these resilient communities have put various adaptation measures in place, they were not primarily targeted at reducing the impact of climate change. The study finds that Augie community is already practising a number of coping strategies and requesting for assistance to strengthen them. Specifically, the stakeholders of the community requested for funding, awareness campaigns and capacity building. In Zumba, awareness campaigns are also needed to address traditional beliefs. The second aspect of the study focused on two South-eastern communities, namely Enugwu Nanka in Anambra State and Akama Amankwo Ngwo in Enugu State. The study revealed that the impacts of climate change in South-Eastern Nigeria include the destruction of roads and economic trees by landslides and tornadoes. Climate change is also responsible for excessive heat, heightened insect activity and the drying up of streams.

The study concluded that while ingenious adaptive and mitigation strategies developed by women were found in the sample states, better policy making to combat climate change is urgently needed.
Nwafor (2007) notes that a common theme in the climate change vulnerability literature is the idea that countries, regions, economic actors and social groups differ in their degree of vulnerability to climate change. This is partly due to the fact that changes in temperature and precipitation occur unevenly and that climate change effects on resources and wealth are distributed unevenly across the globe. Onuoha (2008) examined these observations by adding that unless appropriate mitigation measures are adopted to reduce vulnerability in Nigerian and other developing countries of sub-Saharan Africa, climate change portends grave danger not only to the people but also to the biotic and abiotic environments. The study expressed concern that all the developmental advances witnessed in sub-Saharan Africa may be destroyed or reversed over a short period of time unless the effects of climate change are urgently tackled.

3.0 Results and Discussion

The empirical analysis began with the examination of the data for its time series properties. The results of the unit root tests are shown in Table 1. The results indicate that all the series are i/1 except annual rainfall. This suggests that the variables may be co-integrated, since the dependent variable (GDP) has the same order of integration with majority of the regressors. Indeed, we conducted the co-integration test using the residual approach. The result which is shown in Table 2, indicates that the residual is stationary at all level, thereby confirming the existence of an equilibrium relationship between the variables.

Table 1: Unit root test results

Variable	ADF	Phillips-Perron	Result
GDP	1(1)	1(1)	1(1)
ARF	1(0)	1(0)	1(0)
GEM	1(1)	1(1)	1(1)
FDI	1(1)	1(1)	1(1)
GEXP	1(1)	1(1)	1(1)
PINV	1(1)	1(1)	1(1)
REXR	1(1)	1(1)	1(1)

1(0) and 1(1) denote stationary at level and after first difference, respectively. The unit root tests were performed at 5% level controlling for trend and intercept for GDP, GEXP and REXR and controlling for only intercept in other cases. All variables are in their natural log transformation, GDP (Gross Domestic Product); ADF, Augmented Dickey Fuller

As a robustness check, we also conducted the Johansen co-integration test and the results are shown in Table 3. While the Trace test indicates the existence of at least 4 co-integrating equations.

Table 2: Testing the residual for unit root

Variable	Augmented Dickey Fuller Test Statistics	1% Critical Value	5% Critical Value	Probability Value
Residual	-6.339649	-3.646342	-2.954021	0.0000

The residual is stationary at 1% level of significance

Table 3: Johansen co-integration test results

Hypothesized number of CE (s)	Trace Statistics	5% critical value	P value	Hypothesized number of CE (s)	Max-Eigen statistics	5% critical value	P value
None (x)	218.0508	150.5585	0.0000	None	56.8722	50.5999	0.0099
At most 1 (x)	161.1786	117.7082	0.0000	At most 1	51.3355	44.4972	0.0078
At most 2 (x)	109.8431	88.8038	0.0007	At most 2	43.1871	38.3310	0.0128
At most 3 (x)	66.6560	63.8761	0.0286	At most 3	30.1416	32.1183	0.0855
At most 4	36.5144	42.9153	0.1881	At most 4	18.4746	25.8232	0.3418
At most 5	18.0380	25.8721	0.3414	At most 5	11.7789	19.3870	0.4360
At most 6	6.2592	12.5180	0.4281	At most 6	6.2592	12.5180	0.4281

Note: The xx indicates that the Trace statistics or the Max-Eigen statistics is greater than the corresponding 5% critical value

Table 4: Robust long-run estimation results (dependent variable = GDP)

Variable	Coefficient	Diagnostic checks	Remarks
Constant	3.71 (xxx)	Adjusted R	Good
ARF	0.17 (xx)	P-statistic	‘’
CEM	0.22 (xxxx)	Valid F-statistic	‘’
FDL	0.01	Durbin-Watson Statistic	
GEXP	0.84 (xxxx)	Breusch-Godfrey Test (observed Chi-square)	
PINV	-0.35 (xxxx)	Breusch-Pagan-Godfrey Test (observed Chi-square)	
REXR	-0.14 (xx)	Jarque-Bera statistic	

Table 5: ECM estimation results (dependent variable = D(GDP)

Variable	Coefficient	Diagnostic checks	
Constant	0.05	R Square	0.59
D(ARF)	0.10 (x)	Adjusted R square	0.48
D(CEM)	-0.21 (x)	F-statistic	Remarks
D(FDL)	-0.05	Durbin-Watson statistic	
D(GEXP)	0.76 (xxx)	Breusch-Godfrey test (observed Chi-square)	
D(PENV)	-0.30 (xxxx)	Breusch-Pagan-Godfrey test (observed Chi-square)	
D(REXR)	-0.29 (xxx)	Breusch-Pagan-Godfrey (observed Chi-square)	
BCM(-1)	-1.09 (xxx)	Jarque-Bera statistic	

Following the establishment of an equilibrium relationship between the variables, we estimated the long-run relationship of equation 1. The results are shown in Table 4. We summarize the main findings as follows. First, out of the three climate change variables in this study, only carbon emission impacts negatively on the overall output growth of the Nigerian economy. This suggests that Nigerian government must resolve and implement policies that will reduce the amount of carbon emission in the country, especially those coming from the consumption of fossil fuel and gas flaring. Second, the impacts of rainfall and carbon emission are statistically significant at the 5% level. This shows that these climate change variables are important in Nigeria. Third, contrary to expectation, the impact of forest depletion is positive, though it is not statistically significant. This may be due to inadequacies in documenting forest depletion activities in Nigeria. Consequently, the study will favour the continuation of efforts towards forest conservation in Nigeria. Fourth, all the control variables conformed to theoretical expectations, except for domestic private investment. While government expenditures impacts positively and significantly on output at the 1% level, both private investment and exchange rate impact negatively.

The diagnostic checks indicate that the underlying assumptions of the model have been substantially satisfied. The adjusted R square shows that the regressors have adequately accounted for the variations in the dependent variable. The F-statistics, which is strongly significant at the 1% level, shows that the model as a whole is meaningful. The Durbin-Watson Statistic which is approximately 2 is in line with theoretical expectation. Even though the Breusch-Godfrey Test indicates the presence of residual serial correlation problem at the 5% level, we corrected the problem using the Newey-West FAC method.

The Breusch-Pagan-Godfrey test shows that there is no problem of Heteroscedasticity in the results. The Jarque-Bera statistic shows that the residual is normally distributed in line with theoretical expectations. Overall, the model assumptions are adequately fulfilled.

5. Conclusion and Recommendations

This paper examined the impact of climate change on socio-economic growth and development in Nigeria. The paper used OLS estimation technique and data for the period 1981-2014. Changes in annual rainfall, carbon emission and forest depletion were used to capture climate change, while government expenditure, domestic private investment and exchange rate were used as control variables in order to obtain robust estimates. The paper estimated an error correlation model in order to account for both long-run and short-run relationships. The results indicate that both in the long-run and short-run, carbon emission affect output growth in Nigeria adversely. In addition, forest depletion impacts negatively on national output growth in Nigeria in the short-run. These results imply that Nigerian government should

evolve and implement policies to curb carbon emissions and forest depletion. In other words, government intervention is required to reduce carbon burning, deforestation and fossil fuel consumption. Government should evolve policies to encourage the use of environmental-friendly equipment, machines, infrastructure, and technologies that generate minimal greenhouse gases, such as improved road and rail transport as well as use of bio-fuels and energy saving devices. A NCCC is obviously required in Nigeria to deal with all climate change issues. Furthermore, the finding that domestic private investment and naira-to-dollar exchange rate impede output growth in Nigeria implies that policymakers and governments at all levels in Nigeria should evolve and implement policies to reverse these undesirable outcomes.

References

Adesina, F. A., & Odekunle, T. O. (2011). Climate Change and Adaptation in Nigeria: Some background to Nigeria's response. In International Conference on Environment and Agriculture, IPCBEE 15, JACSIT Press, Singapore.

Asogwa, F. (2003). Lecture Guide on Global Climate Change, Enugu.

Edeh, H., Eme, C., & Nnoli, T. (2014). The Political Economy of Climate Change in Africa. Nigerian Chapter of Arabian Journal of Business and Management review, July.

Ekott, J. (2009). Nigeria is gravely at Risk of Climate Change, NEXT No. 234, Thursday November 12.

Njoku, J. D. (2006). Analysis of the Effect of Global Warming on Forests of South-eastern Nigeria Using Relatively-sensed Data. Unpublished PhD Dissertation, Department of Geography and Environmental Management, Owerri, Imo State University.

Nwafor, J. C. (2007). Global Change: The Driver of Multiple Causes of Food Insecurity in Sub-Saharan Africa. Paper Presented at the International Conference on Climate Change and Economic Sustainability, Awka, Nnamdi Azikiwe University, 12-14 June, 2007.

Onuoha, C. M. (2008). Understanding climate change in African economies: The Green Economic-International Journal of the Green Economies Institute, UK, 3(2) Autumn. Available from http://www.greeneconomies.org.uk

Ozor, N. (2009). Implications of Climate Change for National Development – The Way Forward. African Institute for Applied Economics (AIEE), Enugu Forum Policy Paper 10.

UK Met Office, (1998). Easter 1998 Floods. Available from http://www.meteoffice.gov.uk/climate/uk/interesting/easter1998. (Last accessed on 2017 Jan 03)

IMPACT OF EMPLOYEE MOTIVATION ON THE PERFORMANCE OF MANUFACTURING FIRMS IN LAGOS STATE, NIGERIA

DR CHUKWUEMEKA G, EME, PhD
Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria (NOUN)

Abstract:
The main objective of this study was to identify the motivators influencing the work of employees and to assess the impact of the level of employee motivation on the results obtained by manufacturing firms based in Lagos State, Nigeria. Employees of selected manufacturing firms in Lagos State were selected to carry out the research process. The research was conducted based on the descriptive survey method, while the research tool was survey questionnaires, constructed from closed-ended questions. Google surveys were conducted anonymously. The survey was made available through Google Forms. In addition, a pilot face-to-face interview was conducted among the selected survey participants, which allowed the pre-prepared survey to be detailed. The adoption of these research techniques allowed the collection of statistical (quantitative, economic data), and qualitative (perceptions, value judgements, evaluations, opinions, awareness of facts) materials. The research confirmed that, in addition to financial motivators, high levels of employee motivation are also influenced by job stability, independence, the opportunity to be creative and a friendly atmosphere in the workplace. The research also confirmed that highly motivated employees show higher work efficiency and care more about the quality of their products or services, which positively strengthens the organization's credibility and position as a stable employer. The study concludes there exists some relationship between the level of employee motivation and its impact on organizational performance.
Key Words: Management, human resource management, employee motivation, organizational performance, manufacturing firms, Lagos State, Nigeria

1.INTRODUCTION

1.1 BACKGROUND TO THE STUDY

The manufacturing industry has been experiencing unprecednted degree of change, intense competition and turbulent environment over the years. Thes include rapid change in technology, management, market segmentation, the convergence of different industries, customer demands and expectations, supplier attitudes, shorter product life cycle, innovations and many more aspects which have affected the performance of these firms (Wiggins & Ruefli, 2005; Spina, Barkzaghi, Bett, Cagliano, Draajler & Boer, 2006; McNamara, Vaaler & Devers, 2013; Hum & Sim, 2006). Manyfacturing firms are facing incredible and significant challenges as a result of the dynamic character of manufacturing itself, its market, and environmental situations (Ahmad, Othman & Jazim, 2024).

Most of the authors as cited above (Wiggins & Ruefli, 2005; Hum & Sim, 2006; Vaaler & Devers, 2013; Ahmad, Othman & Jazim, 2024 are of the opinion that among the panacea to curbing and improving the Nigerian manufacturing sector is the human resource element of the manufacturing organizations, which can only be achieved through a highly motivated workforce. This position is adumberated by the adage that ''a hungry man is an angry man''. It cannot be overemphasized that a fully-motivated and satisfied workforce will invariably contribute to efficient and effective organizational performance and achievement of optimum productivity and profitability.

Human resource is the livewire of any organization. Its effective management is therefore very crucial and central to the achievement of organizational objective. One of the important responsibilities of every organization is making great use of every facility at its disposal in order to achieve the planned purpose and meanwhile, the human resources play an important role (Schil, 2006). In today's competitive world, human resources guarantees the maintenance and survival of every organization (Homari, 2006).

Managers fulfil their organizational goals through the work of employees. Thus, managers need to have

highly efficient and productive staff members. Although many factors contribute to productivity, job performance is viewed to be the most influential one. Job performance itself is a function of gour variables: ability, understanding of the task, environment, and motivation (Mitchell, 2008). Accordingly, in order to perform well, employees need tp have the knowledge and tools that are required for the job as well as the will to do whay is required from them.
The statement that people are the most important asset has been present in management since the 1970s (Sienkiewicz, 2018). The emergence of the stand-alone HR function of the enterprise (turn of the 20th century), which was focused on matching employed employees to existing organizational structures, predates publications recognizing the importance of human resources in the production of goods and services.

For example, R. Owen already pointed out the importance of human resources and material and financial resources in production in the first half of the 19th century (Aldag and Streams, 1987). During this period, the threat of losing one's job was considered the primary mechanism for motivating people to work (Pocztowski, 2007). The current state of the personnel function in Nigeria is a resultant of several factors.
The first is the burden of the past, which was characterized in the area of personnel management by such features as the lack of a systematic approach, the attractiveness of the activities undertaken, the influence of political factors and the high centralization of the function 9Listwan, 1993), where the effect was a low rank of the personnel function and a lack of professionalism in this area of business management.
The second factor is the changes in the environment of Nigerian business organizations. An element of these changes is the emergence of a market for personnel consultancy services. The third important factor is the state of knowledge about the nature and conditions of the performance of the personnel function (Pocztowski, 2007; Aldag and Streams, 1987; Thalassinos et al., 2019).
Today, motivating employees is an important part of human resource management. Motivation is found, among others, in the definition of H. King, and A. Ludwiczynski, accprding to which human resource management is a set of interconnected activities, that onclude hiring, developing, and motivating people in organizations, as well as shaping appropriate relationships between managers and employees (Armstrong, 1998).
Today, organizations must use the power of technology and human capital to survive in a competitive environment (Uygur et al., 2021). Motivation in relation to management is a complex peocess, the essence of which is to encourage an employee to perform his or her duties in such a way that they satisfy his or her supervisor and also bring tangible benefits to the organizations. From an organizational perspective, motivation is a process that stimulates employees to act to achieve organizational goals (Prasatiyani et al., 2021). According to Yang and Ai (2020), employee motivation has two sources, namely intrinsic and extrinsic. Extrinsic motivation can be attributed to factors in the workplace, whereas intrinsic motivation is an inner driving force that propels you to achieve more (Mazllami, 2020). Likewise, well-rewarded employees feel that the organization is valuing them. If an employer takes care of the employee and rewards them for appreciating their work, in return, the employee will put maximum effort to achieve his defined targets (Jeni, Mutsuddi, & Das, 2020). The absence of a motivation and rewards system reduces workers' morale (Hammond & Waltermeyer, 2021). Similarly. Shaikh, Shaikh, and Shaikh (2019) stated that firms with poor motivation and reward systems experience higher employee turnover.

Numerous factors that bring success for business include excellent products and services, efficient processes, and outstanding strategies. Of all them, people play an imperative role in contributing to a company's performance. Even, there was an article named ''The Human Element: Your Most Important Business Resource'' (Ferresm 2015) in order to emphasize the importance of human resource in a business. It is believed that human capital is an indispensable component when the business plans, reviews, manages and makes decisions in all strategies. Human capital leads to the success or the failure of an organization in all industries, especially in the manufacturing industry.
Motivating the workforce helps to ensure they enthusiastically bring their efforts each day and help the organization meet the sales and performance goals (Craig, 2017). Furthermore, the high salary and good

positions even are not the conditions to maintain the employees. However, the manufacturing industry is one of the top most attractive industries rated by talents besides their current field (Thanh, 2019).
This study aims at examining the impact pf employee motivation on organizational performance adopting an empirical evidence from selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. It explores the definitions of motivation, methods adopted to motivate as well as maintain the human capital. In order to understand the motivation of employees in the manufacturing sector, various pieces of literature discussing the definition of motivation, the description of manufacturing firms, the employment typologies at these firms, and the importance of motivating the workforce in the manufacturing industry was elaborately reviewed.

1.2 STATEMENT OF THE PROBLEM

In a bid to motivate and improve the performance of employees in the Ngerian manufacturing sector, various Nigerian governments at different periods introduced several policy measures aimed at improving the productivity and efficiency of the manufacturing sector in order to facilitate development and econoomic growth (Sola, Obamuyi, Adekunjo & Ogunleye, 2013). The import substitution strategy was adopted by the Nigerian nation during the First National Development Plan (1962-1968) which aimed at reducing the volume of imports of finished goods, encouraging foreign exchange earnings; the stabilization measures of 1982 which culminated into the Structural Adjustment Programme (SAP) of 1986; the introduction of the economic programme tagged NEEDS (National Economic Empowerment and Development Strategy). Though the NEEDS document tended to be more entrepreneurial, the initiative was essentially useful for large scale industries, which excluded the manufacturing sector. These measures not withstanding, the performance of the manufacturing sector reain comatos and inefficient.

Poor performance in the Nigerian manufacturing sector in most cases stem from dissatisfaction among the manufacturing firms employees. The problem of low motivation also affects the performance of employees in the manufacturing sector. Some of the indicators of low performance and poor performance among these manufacturing workers include inadequacy of technical supervisory personnel, high rate of labour turniver among experienced staff, lateness, restricted training opportunities, poor remuneration and compromise and lack of institutional strengthening (Ndukwe, 2023, Ekakitie, 2020).
The implications of these are low quality expectations and lack of trust in the employer-employee relations, and ultimately leading to low productivity, low market share, high employee turnover and dwindling sales on products and services and embarrassing poor profitability, amongst others. It is in a bid to revamp and restore the manufacturing industry in Nigeria to expected effectiveness, efficiency, high productivity and profitability that the researcher had recommended efficiency in employee motivation as a panacea to the above myriads of problems facing the Nigerian manufacturing sector and thereby justifying this study.

1.3 OBJECTIVES OF THE STUDY

The major (general) objective of this study was to examine the impacts of employee motivation on the performance of manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The specific objectives of the study were to:
i. examine the relationship between training and increased competence for employees in the selected manufacturing firms in Lagos State;
ii. examine the relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of the selcted manufacturing firms in Lagos State;
iii. determine the impacs of recognition on successful completion of tasks for employees of the selected manufacturing firms in Lagos State.

1.4 RESEARCH QUESTIONS

The following research questions were formulated in this study:
i. What is the relationship between training and increased competence of employees of selected manufacturing firms in Lagos State?
ii. What is the relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of selected manufacturing firms in Lagos State?

iii. What are the relationship between the impacts of recognition and successful completion of tasks for employees of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria?

1,5 RESEARCH HYPOTHESES

In line with the objectives of this study, the following reserch hypotheses were formulated and will be tested at 0.06 alpha level of significance.

Ho1: There is no significant relationship between training and increased competence for employees of selected manufacturing firms in Lagos State.

Ho2: There is no significant relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of selected manufacturing firms in Lagos State.

Ho3: There is no significant relationship between the impact of recognition and successful completion of tasks for employees of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

1.6 SIGNIFICANCE OF THE STUDY

Althought the literature is affluent with motivation strategies, the problem is that most of them fall short of practical application or offer it only for the public sector. Even the studies that have been conducted on motivation in the private sector were mainly in relation to productivity in institutions whose outputs are easily quantifiable. There is no study that has focused on the impacts of employee motivation on the performance of selected manufacturing firms, particularly in Lagos State.

To this ens, the study sought to cover this knowledge gap, as it carried out empirical assessment of the impact of employee motivation on selectef manufacturing firms in Lagos State, Nigaria. This study would also provide empirical knowledge of the problems of motivation in the Nigerian manufacturing sector and this would be of great benfit to the Managers of organizations, and policy makers involved in human resource management. The results of the study would hopefully be significant in the sense that it would show how the Managers of the manufacturing sector could harness training and financial incentives (financial motivations0 to inspire stheir employees to increase and sustain organizational performance.

1.7 SCOPE AND LIMITATIONS OF THE STUDY

The study was delimited to the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. These firms were selected as they were a leaders in the manufacturing sector in Lagos State. The researcher focused on the impact assessment of motivation on employee performance in the manufacturing industry. Some of the motivational factors covered in this study included training, financial incentives and recognition. In terms of workers' performance, the indicators covered wer: increased competence, work habits and successful completion of task.

1.8 OPERATIONAL DEFINITION OF TERMS

For the purpose of clarity, some of the most important concepts and variables used in this study were defined authoritatively and operationally as follows:

Motivation: Robbins and George (2000) see motivation as the set of psychological processes that cause this arousal, direction and persistence of individuals' behavour toward attaining a goal.

Training: According to Ounna (1999), ''training is concerned with the development of new skills, new attitudes, technical knowledge and values required to perform specific jobs''.

Financial Incentives: These are monetary package and gratuity, like fringe benefits, bonuses, pensio, and gratuity, housing allowance and staff grants, provided to workers to boost their moralea andwork or performance. enhance their performance in an organization.

Recognition: This is the process of publicly acknowledging and rewarding the employee'd high quality work or performance.

Employee Performance: This is the successful completion of task by a selected individual or individuals, as set and measured by a supervisor or organization, to pre-defined acceptable standards while efficiently and effectively utilizing available resources within a changing environment. Some of the variables or indicators of employee performance are increased competence, successful completion of task, work habits,

timeliness, meeting goals, supervisory time, and implemetation of new ideas among others.
I**ncreased competence:** This refers to greater abilities, commitments, knowledge and skills that enable aworker to perform effectively in a job.

2.0 REVIEW OF RELATED LITERATURE

2.0.1 Preamble

In this section, the works of different scolars and authors related to the topic under study were reviewed. The esence was to discover what had already been done in the area , and the knowledge gap, and consequently fill it. The review was organized into various sub-headings that reflect the variables under study. There were six (6) sub-headings under review thus: conceptual review, theoretical review, theoretical framework, empirical studies/review, gaps in literature and summary of literature review

2.1 CONCEPTUAL REVIEW

The conceptual review reviewed the basic concepts on which the study was anchored. They include: the meaning of motivation, the role of motivation in the organization, employee performance, relationship between motivation and employee performance as well as motivation and workers performance in the Nigerian manufacturing sector.

2.1.1 Meaning of Motivation

An effective organization will make sure that there is a spirit of cooperation and sense of commitment and satisfaction within the sphere of its influence. In order to make employees satisfied and committed to their various jobs in the organization, there is need for a strong and effective motivation at the various levels, departments and sections of the organization.

The word motivation is coined from the Latin word motus, a form of the verb movere, which means to move, influence, affect, and excite. By motivation, we then mean the degree to which a person is moved or aroused to act (Rainey, 2023). Scholars have expanded the term to include the set of psychological processes that cause the arousal, direction and persistence of individual's behaviour toward attaining a goal (Greenberg and Baron, 2023; Robbins and George, 2008). The latter definition determines three pillars of motivation. The first - arousal - has to do with the drive or energy that ignites behaviour (Greenberg & Baron, 2023). The second - direction - has to with the type of behaviour that is exerted and whether it is in line with demand or organizational goal (Robbin & George, 2008). The third pillar - persistence - deals with the lastingness of behaviour. Though, this factor is of less importance, because persistence can be simply defined as the reaffirmation initial arousement of the initial arousal and direction processes.

Furthermore, the definition asserts that motivation is an individual phenomenon. Each individual is unique and has different needs, expectations, values, history, attitudes and goals (Greenberg & Baron, 2023). Hence, a manager cannot assume that what motivates him/her will also the employee. And what motivates one employee may not necessarily motivate another. Thus, individual needs and characteristics shape and define what constitutes motivation. By implication, there is no best approach to motivate people in an organization. This may account for the plethora of motivational theories in the literature of organizational psychology.

Be it intrinsic or extrinsic, motivation is not an end in itself, but rather a means to an ens (Wright, 2021). The ultimate goal of motivation is action, as insinuated on the last part of the definition - toward attaining a goal. And in the workplace, action means performance. Thus, the objective of work motivation research is ‘’to learn how to motivateemployees to perform the duties and responsibilities assigned by the organization (Wright, 2020). That being said, it is important to say attention not to auromatically associate motivation with performance. Motivation alone does not determine performance. It is only a factor in a series of components that contribute to the level of employee performance (Rainey, 2023). And, performance should not be mistakingly understood as productivity, since sabotage and absence are motivated behavious as well (Landy & Coote, 2020). To add to this, motivation may be negative or positive, all geared towards achieving positive results. However, negative motivation may give risr to negative outcomes in some cases. It serves as deterrence to workers who might behave contrary to the expectations

of the organization.
Motivation is also not to be confused with job satisfaction. Early exponents, such as the famous Hawthorne plant study in the late 1920s, led searchers to the false conclusion that happiness and satisfaction on the job equals high employee motivation to work. This has long been proven wrong (Landy & Coote, 2020). A worker can be extermely satisfied with his/her job and at the same time be unmotivated to exert effort. In fact, that is exactly one of the problems the Managers experience in motivating subordinates - some employees are very pleased with their comfort work conditions, e.g. job securit, and still have very little motivation to work. Nonrtheless, job satisfaction should not be mislaid. It may not have a direct effect on motivation, performance, and productivity., but it sure has been found to be related to employee retention, thus indirectly influencing organizational costs associated with employee absenteeism and turnover (Wright & Davis, 2023).
For pur[oses of this study, various elements of the many definitions of motivation have been combined to form an eclectic view of the concept. Motivation is viewed as an innate force, shaped and maintained by a set of highly individualized factors that may change from time to time, depending on the particular needs and motives of the employee.
Environmental forces, such as those related to the job itself and to the organization, do not have a causal link with motivation, but impact on the level of motivation experienced by the employee. Together, the innate and environmental forces determine an employee's behaviour at work. Motivation is a multi-dimensional concept that manifests in behaviours that may be observed, measured and to some extent at least, predicted.

2.1.2 Role of Motivation in the Organization

Why do we need motivated employees? The answer is for the survival of the organization. In the increasingly competitive, rapifly changing world of business, a motivated workforce is a great asset. Motivated employees are more productive, committed and loyal to the organization (Ojutalayo, 2023). Motivation is key among the factors for effective performanc. Tosi, Rizzo and Carroll (2024) indicate that performance is the result of abilityand motivation of employees. Thus:

Perfomance = f (Ability + Motivation)

Robbins (2009) adds opportunity to the equation of performance thus:

Performance = f (Ability + Motivation + Opportunity)

Robbins (2009) argues that even though an indivifual may be motivated and has the ability to perform there could be obstacles that constrain opportunity to perform. Kreitner and Kincki (1998) give the following formula indicating that effective performance involves many factors, including motivation;
Performance = Level of ability + Levels of skill + Motivation + Knowledge about how to complete the task + Feelings/Emotions + Facillitating and inhibiting conditions not under the individual's control
According to Kreitner and Kinicki (1998) motivation is necessary, but not a sufficient contributor to job performance. Bagraim (2023) argues that effective performance is a factor of motivation, inherent ability, developed competence and opportunity. Ability is based on education, experience and training and its improvement involves a long process. On the other hand, motivation can be improbed quickly and immediately (Hodgkins, 2023).
Bagraim (2023) emphasizes that an effective manager must understand employees and what motivates them, and that high levels of motivation are bery important contributors to organizational performance. Highly motivated employees strive to produce at the highest possible level and they exert greater effort that employees who are not motivated.
Bagraim (2023) adds motivated employees are:
> They always want to come to work;
> They want to be part of teams at work;
> They are interested in helping and supporting others at work; and
> They generally esert greater effort in their work and contribute more in the organization
The effects of motivation do not stop with performance. In the group of motivated employees there are fewer work accidents, fewer rates of ethical problems, less employee turnover ans lower levels of

absenteeism (Durkiewicz et al., 2018). Motivated employees feel less stress, enjoy their work, and as a result have better physical and mental health (Robbin, 2010). Furthermore, motivated employees are more committed to their organizations and show less insubordination and grievance (Durkiewicz et al., 2018). They are also more creative, innovative, and responsive to customers, thus indirectly contributing to the long-term success of the organization (MANforum, 2019). In short, motivated employees are the greatest asset of any organization.

Tosi et al (2024) note that the subject of motivation is of interest to psychologists and managers since it is a factor in organizational psychology and human behaviour. As a psychological concept, motivation refers to the internal mental state of a person, which relates to the initiation, direction, persistence, intensity and termination of behaviour. Motivation is also a factor in management practice, therefore attracting interest of students of management and managers. Motivation as a management concept is seen as something managers do to induce others to act so as to produce results desired by the organization.

Kreitner and kINICKI (1998) observed that effective employee motivation has long been one of management's most difficult and important duries especially in the current situation where organizations tend to downsize, and in relation to the demands associated with managing a diversified workforce. From the foregoing, it is safe to state that motivation is vital to the realization of organizational goals. It provides workers with the zeal and persistence to accomplish objectives. However, there are different factors that motivate different people at the workplace. Thus, organizations that seek to successfully motivate their workers must adopt multidimensional strategy to motivation.

2.1.3 Employee Performance

Amos et al (2024) stated that ''the effective management of individual performance is critical to the execution of strategy and the roganization achieving its strategic objectives''.

Performance cannot be left in anticipation that it will develop naturally, despite the employee's natural desire to perform and be rewarded for it. This desire needs to be accommodated, facilitated and cultivated (Amos et al., 2024). In return for his performance, organizations textend hemselves in various forms of acknowledgement (Foot and Hook, 2019). Individual performance has bevome a topical issue in today's business environment, so much so that organizations go to great lengths to appraise and manage it (Armstrong and Baron, 1998).

Whetten and Cameron (2018) stated that individual performance is the product of ability multiplied by motivation. Furthermore, Cummings and Schwab (2023) concur with the belief that performance is ultimately an individual phenomenon with environmental factors influencing performance primarily throught their effect on the individual determinants of performance - ability and motivation.

Both ability and motivation are necessary to some degree before successful job performance is obtainable. Cummings and Schwab (2023) describe the need for at least minimal ability before an employee can carry out a task, regardless of how motivated he may be. Similarly, an abundance of ability will not result in successful performance if the employee is completely unwillingly to perform adequately. This view is supported by Vroom (1964) who indicates that factors influencing individual erformance within the organization are factors such as the ability of the person and the willingness of the person to exert effort (motivation).

Despite the motivation to perform, it is necessary to briefly highlight the barriers that might affect the performance of employees. These barriers may be as a result of underdeveloped competencies, inappropriate performance goals, or lack of feedback about performance (Helriegel et al., 2019). For organizational purposes, factors affecting overall employee performance may be seperated into two groups: internal and external. Internal factors are those factors over which the organization has influence and control, such as leadership style and remuneration. External factors are those factors over which the organization has little or no control, such as demands for jobs grading systems (Helriegel et al., 2019).

2.1.4 Relationship between Motivation and Performance

The discourse of motivation and performance is like the chicken and egg discourse because of their complementary nature. Performance enhancement depends largely on a well-guided motivation directed at the rmployee's needs.

Motivation is, therefore, indispensable for good performance. It has been proved that an unsatisfied need can cause frustration, conflict and stress (Arowolo, 2020). Consequently, motivation in a way is a mechanism through which frustration, conflict and stress are managed not minimized. Motivation becomes motivation when it is able to induce workers to perform to the best of their ability. When workers are not genuinely motivated, that is, when motivation does not touch the immediate needs of workers, their ability to perform to the best of their ability is threatened. As a consequence, good performance and efficiency become elusive while poor performance and low productivity is encouraged.
From the foregoing, it is evident that the two concepts are inseperable. They both work hand-in-hand; they are interconnected; one is designed to strengthen the other. Motivation is not an end in otself; it a means to an end. That is, it is aimed at good performance. It ensures better performance when righly targeted. Motivation is also a creative tool against deficient performance. Therefore, it is a double-edged sword used to enhance performance and to prevent conflict and stress arising from neglect and frustration.

2.2 THEORETICAL REVIEW

Motivation is a complex phenomennon. Several theories attempt to explain how motivation works. In this section, some of the content, human relations and process theories of motivation were explored. Hence, this present study was anchored or underpinned by David McClelland's Acquired Needs theory, Abraham Maslow's Hierarchy of Needs theory, the ERG theory, Theories X and Y, Expectancy theory and the Equity theory. The researcher, therefore, briefly discussed the above Motivation theories, highlighting their relevance and contributions to this present study.

2.2.1 David McClelland Acquired NeedsTheory (1961)

Among the early approaches that focus on specific needs is the three needs theory. McClelland (1961) suggested that employees differ in their needs for achievement, affiliation and power.
Need for Achievement: This includes personal responsibility, feedback, and moderate risk.
Need for Affiliation: Acceptance, friendship, cooperation and teamwork

Need for power: Influence, authority and competion. David McClelland's ((1987) motivation theory suggests that people are differently motivated towards achievement, power, affiliation and avoidance, where the achievement motive is key to McClelland's view of economic development. Such achievement involves the creation of more efficient ways of doing things and solving problems, the preference for tasks which reveal successful performance, and the taking of personal responsibility for performance (Jackson and Bak, 2018).
Need for achievement: refers to individual tendency to seek and accomplish tasking assignment or engagement in order to show their competence. Moreover, need for achievement had been found to be related to self-related personal initiative at work (Frese, Ray, Hiburger, Leng, and Tag , 2017). Need for affiliation refers to individual evaluation of social interaction with others (colleagues, supervisors:. Employees with high need for affiliations are workers that believe in work groups or teamwork. A related concept is need to belong which refers to individual-tendency to build and maintain inter-personal relationships. The need for power refers to dominance or interest in influencing others. Thus, persons with high need for power are motivated by supervisory roles or needs for management positions.

2.2.2 Abraham Maslow's Hierarchy of Needs Theory (1943)

Perhaps, the most prominent multiple classifications of human needs are Maslow's (1943) hierarchical model that postulates five level of needs as determinants of human behaviour. Arranging them in ascending order, Maslow identifies the lower level needs as deficiency need that generates tension and a drive to act

when they are not satisfied. By not attending to such needs it can lead to death.
As reported by Ogunrin, Ogunrin and Akerele (2007) Kenyon (2024) stated that Maslow (1943) conceptualized five human needs arranged in an ascending order of importance, although some authors point out that from the start, Maslow talk of seven levels of needs with management texts blamed for erroneously popularizing five. Latter needs theories are believed to be modifications of Maslow's work, with differences centred on number and ordering of needs 9Huit, 2023). According to Maslow, a lower need is pre-potent over the next higher need, that is, it must be satisfied first, but that anytimea previously satisfied need becomes deficient, individuals again act to remove the deficiency (Accel-Team.com, 2025). In other words, it is an unsatisfied need that directs behaviour, and observed behaviour may be motivated by more than one need (Sondak, 2020). Maslow's hierarchically ordered needs fall into two main groups: deficiency needs and growth needs. The four deficiency needs are physiological needs, safety and security needs, belongingness and love (social) needs and esteem needs.

Physiological needs pertain to substenance of human life: water, shelter, food, medicine, and so on. Ssfety/security needs are psychological in nature and include the need to be free from physical harm by loss of a job, property, food or shelter, and need for protection against emotional harm (Gwynne, 2017). Belongingness (social) needs are the needs for affection of a non-sexual nature; the desire to belong to clubs, work groups, religious groups, family and gangs. Esteem needs pertain to the desire to be conted as worthy, both by oneself and by others. Hence, there are two types of esteem needs - internal esteem needs comprising self-respect, autonomy and achievement, and external esteem needs comprising status, recognition and attention (Ogunrin, Ogunrin and Akerele, 2017).
Summarily, the firjob security. Social needs st needs, which is, physiological need is the broadest stage which includes the need for food, shelter, clothing, physical comfort etc., this stage provides the basis of life. The second level is safety/security need; this involves avoidance from danger, threat and deprivation. It also involves physical and job security. Social needs are third with the need for affection, belonging and social contact. The fourth level is self-esteem which involves need or desire for recognition, appreciation and respect from others. The final and the highest is self-actualization. It is categorized as groeth need. It is defined as one's full human potential. This stage presents the biggest leadership challenge as it is difficult for organizations to provide an environment for this stage.
According to Maslow, higher-order needs such as self-esteem or social needs should determine behaviour only when lower needs are satisfied. So workers move up and down the pyramid during their employment experience. Due ti the heuristic plausibility of Maslow's model, it is still popular particularly among managers and consultants. However, the main merit of the model is its normative and philosophical statement about the general values of work and organizattional psychology as a whole, directing the attention to personal growth and self-actualization as an important need of rmployee and organizations possiblities to meet them (Muchinsky, 2023).

2.2.3 ERG Theory

The ERG theory is formulated by Clayton Alderfer. This can be seen as an upshot or summary of the famous Abraham Maslow's theory of needs. The theory assumes that why do people behave the way they do, what motivates people to act. In the process the theory asserts that all that people do is motivated by needs and those needs can be grouped based on their importance. The assumption is that people meets the need that is most important before putting energy on the next most important need in the next or second group and then to the third group.

This theory as can be seen is in resemblance to the Abraham Maslow's theory as the existence needs can be compared to physiological needs and relatedness to self esteem and finally growth needs to self-actualization. The term ERG can be related to the form of energy as it can be seen from the theory how it believes in exerting energyto one specific need before putting it to the next group.

2.2.4 Douglas Mcgregor's Theory X and Y (1960)

Douglas Mcgregor (1960) in his book ''The Human Side of Enterprise'' examined theories on behaviour of individuals at work and formulated two models which he calls theory X and Y.

Theory X Assumptions

Because of individuals dislike for work, most people must be controlled or be threatened before they can work hard enough. The average human prefers to be directed, dislikes responsibilities, is ambiguous, and desires security above everything. These assumptions lie behind most organizational principles today and give rise both to tough management with punishments and tight controls, and then soft management which aims at harmony at work. Both of this are wrong because man needs more than financial rewards at work, he also needs some deeper higher-order motivation that is the opportunity fo fulfil him. Theory X managers do not give their staff this opportunity so that the employees behave in the expected fashion.

Theory Y Assumptions

The expenditure of physical and mental effort in work is as natural to play or rest. Control and punishment are not the only ways to make people work, man will direct himself if he is committed to the aim of the organization. The average man learns under proper conditions not only to accept but to seek responsibility. Imagination, creativity ingenuity can be used to solve work problems by a large number of employees. Under the conditions of modern industrial life, the intellectual potentialities of the average man are only partially utilized.

2.2.5 Expectancy Theory

Based on the earlier works of Lenin (1935), Victor Vroom (1964) created the expectancy theory. The premise of this theory was that felt needs cause behaviour and this motivated behaviour in a work environment if a person perceived a posirive relationship between effort and performance.

Vroom's theory assumes thar a behaviour resilt from choosing ampng alternatives whose purpose was to maximize pleasure and minimize pain. The key elements of this theory are expectancy (perception on reward) and valence (emotional orientation I.e. extrinsic and intrinsic value). Vroom concluded that moyivated behaviour was increased if there was a positive relationship between good performances. As a consequence, he identified three relationshipd that enhance motivated behaviour. They are: there is a positive relationship between desired performance and rewards and the achievement of valued outcomes or rewards. This theory identified the link between effort and performance and the link between performance and valued outcomes. It pointed out that people exerted effort expended would result in a desired performance reward. The theory outlines three conditions to be present or available or to be met before individuals can exhibit a sense of motivated behaviour:

i. The effort to performance expectancy must be greater than zero level;
ii. The performance tp outcome expectancy must be greater than zero;
iii. The sum of the valence for all relevant outcomes must be greater than zero.

2.2.6 Equity Theory

Adams (1965) created the equity theory, he contended that people want to receive equitable reward and compensation for their work. He asserted that if people felt they were not treated equitably in the work environment, they were dissatisfied with their job (Evans, 2024). The equity theory contends that employees in an organizaition believe or live on the perception of how fairly they are treated in their work. The theory assume that workers should be treated fairly based on the amount of performance or effort they put towards the accomplishment of their task. Employees look down at the way and manner to which they are treated compared to their peers and hence determine their level of motivation and effort tp be putting in their work. Adams (1965) contends that motivation is a consequence of inequity. The theory emphasize that employees makes comparison to which the outcome determines the effort they put to ot inputs needed to achieve their target of outome. This can be seen as the level of inputs and oyput. The level of experience, education, and effort can be referred to as the output while the outcomes can be promotion, pay and benefits. By the time inputs are not in the same range with the other, a sense of inequity exist.

Adams contend that the state of equity can be referred to as wjen the ratio of persons outcomes or inputs is equal to another person's outcomes and inputs. For example, a person expects to receive the same entitlements with his peer of the same experience and qualification but there is a difference, the other will feel a sense of inequity.
A senxe of inequity according to Adams (1965) brought about tension that motivate people to bring equity in four ways I.e. altering effort, altering outcomes, changing how people think and finally quit. Although the theory is criticized not to have precisely characterize menta process because it assumes that humans always makes mental list of outcomes and compares them their own way.

2.3 THEORETICAL FRAMEWORK

In this study, the researcher adopted Abraham Maslow's hierarchy of Needs Theory as the theoretical framework upon which the assessment of the impacts of employee motivation on organizational performance of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria was based. According to Robbins (1998), Maslow's theory is based on two assumptions:That different needs are active at different times, and only needs not yet satisfied can influence behaviour and that needs are arranged in a fixed order of importance called a hierarchy. The need to satisfy leads to motivation to work in order to satisfy that particular need. Once that need has been satisfied then there must be an appeal to satisfy the next level of need to again be motivated.
This theory is relevant to this study as there are many things organizations including the Nigerian manufacturing sector do to meet the set of needs identified by Maslow. The Nigerian manufacturing sector try to satisfy the physiological needs of the adoption of Maslow heir workers by paying their salaries, money that can be exchanged for food, shelter and clothing. But there is more to satisfying physiological needs than giving employees a pay check. There are also coffee breaks and opportunities to rest. For instance, bonuses are awarded to those that made suggestions that improve the organization. A genuine thank you can also be enough recognition to foster respect and self esteem. Finally, self-actualization needs are satisfied via opportunities to training and advancement . In this regarrd, Managers of manufacturing firms are encouraged to regularly engage in staff training and management development in order to improve their skills acquisition and boost their morale anc confidence in the organization.

Despite the criticisms of this theory, a number of reasons justify the adoption of Maslow's theory in this study. First, Maslow's theory provides excellent guidance with respect to the needs that workers are motivated to achieve.Second, many organizations have taken actions directly suggested by the theory, and have found them to be successful. For this reason, the theory remains with organizational practitioners. Third, it provides insight into the importance of recognizing human needs in the workplace. Fourth, the theory has had a significant impact on management approaches to motivation and the design of organizations to meet individual needs. Lastly, ir is a convenient framework for viewing the different needs and expectations that people have, where they are in the hierarchy, and the different motivators that might be applied to people at different levels. The need of hierarchy model provides a useful base for the evaluation of motivation at work.

2.4 EMPIRICAL REVIEW

Previous studies on the level of staff motivation and job performance in the profit and non-profit organizations have yielded differing results. A study by Eze (20250 revealed that there is significant difference between the high-order motivators and the lower-order motivators and that being preoccupied with the motivators in one set would inhibit the urge to satisfy the motivators in the other set. The lower-order motivators (e.g. human physiological needs such as needs for food, clean water, clothing, shelter, and sex/marriage) are basic to Nigerian workers and more prominent than the higher order motives (Eze, 2025). The study support the above findings as a critical look at the work environment in Nigeria shows that most workers are preoccupied with how to meet their basic needs. This is why salary review has been a recurring decimal in an attempt to reform both the public and private sectors for effective performance.
A study conducted by Gunu (2023) revealed that employees of the Kwara State Government, Nigeria were

dissatisfied with their physiological needs (e.g. salary). Accordingly, Karwai (2025) argued that as long as the human basic needs (or lower-order .motivators) remains the major problemof workers in Nigeria, the quest for money which is the ultimate means of acquiring goods and services through whatever means (e.g. corruption, fraud, thuggery, militancy, robbery) will remain the order of the day and as such, a serious societal problem. Gunu (20230 established employees'' satisfaction with their esteem needs (e.g. promotion) , and safety needs (e.g. work itself). High level of staff motivation and job satisfaction was found to exist among the employees of an agribusiness in Zaria, Nigeria.
Isaac (2018) observed poor attitude to work among workers in the private sector of Akwa Ibom State, Nigeria, which instigated him to probe into cvauses of such behaviour.

His study revealed low motivation among the staff, and high absenteeismfrom work, low punctuality to work, indolent at work, and fraudulent behaviour. Furthermore, a significant relationship was establishe between motivation and employees' punctuality at work, motivation and indolent behaviour and frauduklent behaviour, and motivation and absenteeism (Isaac, 2025). Abejirinde (2019) used two motivational indicators, namely growth and promotion, to determine the level of staff motivation and performance in the Nigerian public and private sectors. He established high rate of growth and promotion opportunities for the employees in both private and public organizations. He equally established high rate of job performance among the staff.
As stated by Ogunrin, Ogunrin and Akerele (2017), Maduabum, (1990) and Odiaka (19910 reported that a number of authors have examined the work attitudes of Nigerian workers and concluded that these workers, especially those working within the public sector, possess very poor attitudes. Adomi and Eruvwe (2024), also quoted that Akerele (1990) in his study of work attitudes of junior workers in a Nigerian university discovered that the general attitude of junior workers in Nigerian public service reinforces absenteeism, lateness to work, uncooperativeness at work, low concern for public propery and low organizational identification, and suggested that positive work orientation could be internalized through comprehensive training program to create awareness and introduce attitudinal changeexternally by parent organizations. Although this study concur with the findings of the authors above, it goes further to state that the authors failed to identify the cause of poor work attitude in the public sector. In the researcher's view lack of adequate motivational techniques is one of the major causes of poor work attitude in the public sector.
Beckey and Cample (2020) state that part of the benefits of training, is that it motivates employees because they are able to effectively undertake their work. They also describe employees development as the the general enhancement and growth of an idividual's skills and abilities through conscious and unconscious learning. Staff development therefore ensures that employees in the organization have the knowledge, skills and competency required to carry out work effectively. According to Ogunna (20220, the government of Nigeria has not had a comprehensive policy to guide staff development. Training in the public service has been guided by discrete policy guidelines contained in various government documents, which include administrative circulars, personnel and general letters, reports and other publications issued to the service from time to time. Training needs assessment and evaluation ha not been undertaken with the resultant effect of miniomal impact of training on work performance and motivation of employees. The government also does not have a policy to manage career advancement programmes for employees in the public service let alone in the private sector.

A survey of research findings on work motivation have generally suggested that intrinsic rewards are ranked as better motivators than extrinsic rewards (Kowach, 2017; Harpaz, 2020, and Lindner, 2018). The reason for this, however, is notfarfetched. In the developed industrialized countries where majority of these researches are conducted, satisfaction of the basic needs of life such as food, shelter, etc, are taken for granted by alarge majority, hence emphasis has shifted from the extrinsic factors such as interesting work, achievement, recognition, challenge and self-actualization. The same, however, cannot be said for less developed and developing world, such as Nigeria.
In a study by Aworemi et al (2021), good wages was ranked as third motivator by the respondents. Two hundred and thirty two respondents (82.9%) strongly agreed that good wages enhance their performance

while the remaining 48 respondents (17.1%) partially agreed. Further analysis of the good wage system shows that regular payment of salaried and leave bonuses, transport and housing allowance, annual salary incrememnt, meal subsidy, and regular promotion opportunities are very crucial and important in motivating employees. This study corroborates the finding of Popoola (2022), Ekerete (2010), Ekhator, (2023) that Nigerian worker have a high aspiration for money and wealth and is only motivated to perform by financial incentives. The present study supports the above findings. It must be observed that the emphasis Nigerian workers place on money as a motivator does not only consist of the need to satisfy basic needs but also from the culture of the people that conceive it to be a source of dignity and self worth.

2.5 GAPS IN LITERATURE

Having reviewed the literature related to the impacts of employee motivation on the performance of the Nigerian manufacturing sector, adopting Lagos State as case study, the researcher was not privilege to identify any previous works that was as comprehensive, detailed and impactful as this present study. The present work therefore is a ready document to the academia, business organizations and government functionaries in terms of providing a policy document to make effective regulation for employee motivations in organizations. Again, the researcher was not privilege to identify any previous works carried out on the impacts of employee motivation on the performance of the manufacturing sector in Lagos State, Nigeria. Hence, this present study attempted to fill this all-important gaps in literature, and thereby contriburing to the body of knowledge.

2.6 SUMMARY OF REVIEWED LITERATURE

This section chronicled the review of related literature on the impacts of employee motivation on performance of selected SMEs in Lagos State, Nigeria. The section was sub-divided into five (5) major sections. Firstly, is the conceptual review detailing the definitions, explanations and review of basic concepts as relating to the subject matter. Secondly, is the theoretical review, chronicling the theories of employee motivation that anchors the study. Thirdly, is the theoretical framework, identifying the particular theory that directly underpinned the study. Fourthly, is the review of related previous empirical works that is in tandem with this present study. Finally, is the identification of gaps in literature, filling important gaps in the body of knowledge in this subject matter.

3.0 METHODOLOGY

3.1 Preamble

This section focused on the method that was used in collecting and analysing data for the study. These include: research design, types and sources of data, population of the study, sampling technique/sampling size, as well as method of data presentation and analysis.

3.2 Research Design

The descriptive survey research design method was used in this study. It involved using a self-designed questionnaire in collecting data from the respondents. This method was chosen in order to make reference to phenomena as they exist in real life and it is relatively economical in terms of time and resources.

3.2 Sources of Data

Primary and secondary data were used in this study. Primary data which consisted of firsthand information were obtained from the structured questionnaire, and intensive interviews. Secondary data were collected from published and unpublished materials like text books, research reports, journals, magazines, newspapers, periodicals as well as articles on the internet.

3.3 Population of the Study

The population of the study was a finite one onsisting of the entire staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. They include Emzor Pharmaceuticals, Isolo, Oshodi Expressway; PZ Zochonis

Drugs Manufacturing Company, Alausa Ikeja, and PAL Breweries PLC, Iganmu, Lagos. The population of the study as at the time of this study was one hundred and fifty six (156).

3.4 Sampling Techniques/Sample Size

The probability sampling method was adopted in this study. Specifically, the simple random sampling technique which is a variant of the probability sampling method was used in selecting the sample size.
The simple random sampling is a basic sampling design, which allows equal representation and selection of samples. The selection of the sample was done in such a way to include all categories of workers (senior staff and junior staff) and it cut across gender. This was done in anticipation that such a sampling of respondents will provide the necessary variety of information required of this study. A sample size of 100 (64%) was chosen. The sample size was determined using simple percentage formula which states thus;

$$\frac{100}{156} \times \frac{100}{1} = 64\% \quad \text{or} \quad \frac{64}{100} \times \frac{156}{1} = 100$$

3.5 Method of Data Presentation and Analysis

The researcher used tables in presenting the data collected in the course of this study. Simple percentage was used in the analyses while the hypotheses formulated for this study were tested with the aid of Chi square (X2) statistic.

4.0 DATA PRESENTATION AND ANALYSIS

4.1 Data Presentation

This section focused on the presentation and analyses of the data obtained from the respondents that constituted the sample size of the study. The population of the study was one hundred and fifty six (156) staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The sample size was made up of one hundred (100) staff of the manufacturing firms involved as shown on table 4.1.
A total of one hundred (100) questionnaires were administered to the staff of the selected manufacturing firms. Out of this, ninety four (94) questionnaires were administered to the staff of the selected manufacturing firms. The data obtained from the respondents were presented and analyzed as a single unit.

Table 4.1: Respondents Population

Organization	**No. of Staff**	**Sampled Response**	**Percentage (%)**
Emzor Pharma	40	100	25.6
PZ Zochonis	56	100	36.0
PAL Breweries	60	100	39.4
Total	156		100.0

Field Survey, 2025
Table 4.1 shows that out of 156 staff of the selected firms, 100 respondents (100%) was sampled.

Table 4.2: Sex Population of Respondents

Sex	**Male**	**Female**	**No. of Respondrnts**	**Percentage (%)**
Emzor Pharma	25	15	40	25.6
PZ Zochonis	40	16	56	36.0
PAL Breweries	35	25	60	39.4
Total	100	56	156	100.0

Source: Field Survey, 2025
Table 4.2 indicated 100 respondents represnting 64% were males while 56 respondents representing 36% were females. The essence of including sex in the analysis was that the researcher believed that the factors

which motivate females may vary from the ones that induce males at the workplace.

Table 4.3: Age Distribution of Respondents

Age Range	No. of Respondents	Percentage (%)
25-34	13	14.0
35-44	41	44.0
45-54	24	25.0
55-64	16	17.0
65 and above	0	1,0
Total	94	100.0

Source: Field Survey, 2025

Table 4.3 revealed that 13 (14.0%) respondents were within the age bracket of 25-34 years, 41 (44%) respondents fall within the age range of 35-44 years, 24 (25%) respondents were within age bracket of 45 - 54 , 16 (16%) were within the age bracket of 55-64 while 5 (1.0%) were between 65 and above. Age is considered to be a factor in motivation. What motivates people of different ages at any given time varies.

4.2 Data Analysis

The category of responses used in the analysis include SA - Strongly Agree, A - Agree, UD = Undecided, D - Disagree and SD = Strongly disagree. In line with the Likert scale of analysi, the responses are ranked as follows: SA - 5, A - 5, UD - 3, D - 2, SD - 1.

Table 4.4: Workers' skills, abilities in relation to level of competence on the job

Options	No. of Respondents	Sanpled Response
SA	42	42
A	39	39
UD	0	0
D	8	8
SD	5	5
Total	94	94

Source:Field Survey, 2025

Table 4.4 indicated that 42 (45%) respondents strongly agree that more skills and abilities increases a worker's level of competence while 8 (9%) respondents disagree with the proposition and 5 (5%) respondents strongly disagree that skills and abilities on the part of the workers do not correlate with the level of competence on the job. Majority of the respondents were of the view that workers with greater skills and abilities perform their tasks more competently than others. Some of the respondents intervciewed believed that inadequate knowledge of one's task lowers morale and result in poor performance.

Table 4.5: Seminars, workshops and course impact on employee performance in Nigeria's manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	44	47%
UD	30	32%
D	3	3%
SD	7	7%
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

Table 4.5 indicated that 44 (47%) respondents strongly agree that trainng in the form of seninars, workshops, and courses impact positively on employee performance on the job, 30 (32%) respondents agree to the statement while 10 (11%) respondents were undecided while 3 (3%) respondents disagree with the proposition and 7 (7%) respondents strongly disagreed. Organizations that implement learning environments have low employee turnover, which makes it difficult for outsiders to become hired. Learning opportunities increases a person's desire to excel and learn new skills, it develops positive self-esteem and self-prides just to name a few attributes (Ikpeazu, 2019).

Table 4.6: Prompt payment of salarries and workers motivation impacts on higher performance

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	50	55%
A	20	21%
UD	2	02%
D	12	13%
SD	10	11%
Total	94	100%

Source: Field Survey, 2025

The result of the analyses on Table 4.6 showed that 50 (55%) helps to motivate workers for higher performance, 20 (21%) respondents agree with the view, 2 (2%) repondents were undecided on the issue, while 1 (13%) respondents disagree, majority of the respondents believed that regular and prompt payment of salaries help to motivate workers and induce good performance. Perhaps, the most basic element of motivation in an organization is the salary which a worker takes home. This in in accordance with Maslow's hierarchy of needs theory. Salary helps to satisfy the very basic needs of an individual which includes food, clothing and shelter (Johns, 2023).

Table 4.7: Financial rewards impacts on job performance habits

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	55	59%
A	24	25%
UD	5	5%
D	10	12%
SD	-	-
Total	94	1005

Source: Field Survey, 2025

As the result of the analyses in table 4.7 indicate that 55 (59%) strongly agree that financial rewards such as bonus, leave allowance and grants enhance workers performance and reduces apathy, indiscipline and grievances among staff, 24 (25%) respondents agree to the view, 5 (5%) respondents were undecided on the view, while 10 (11%) respondents disagree with the view that financial rewards improves performance and reduces negative work habits.

Table 4.8: Welfare programme and motivation of workers impact s on better performance in the selected manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	27	29%
A	38	40%
UD	9	10%
D	12	13%
SD	8	8%
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

Table 4.8 showed that 27 (29%) respondents strongly agree that welfare programmes for staff housing and health insurance schemes boost workers morale in doing their job, 38 (40%) respondents agree to the same view, and 8 (10%) respondents strongly disagree. According to some of the respondents interviewed the organizations has elaborate welfare packagesthat cover thes areas and thes eboost their morale and encourage good performance. Housing achemes enable a worker to satisfy one of the basic needs - shelter. Thus, organizations that make provision for welfare pavkages like the ones mentioned here are considered to be considerate and sympathetic to the cause of their workers, hence, workers in turn display high level of commitment to organizational objectives.

Table 4.9: Recognition impacts on employee performance in the selected manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	47	50%
A	37	39%
UD	10	11%
D	-	-
SD	-	-
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

As the results of the analyses on table 4.9 indicated, 47 (50%) of the respondents strongly agree that recognition in the forms of praises, thank you, merit awards, commendation letters, and banquets in honour of workers with outstanding performance do motivate and induce workers to perform more better on the job, 37 (39%) respondents agree to the same view and 10 (11%) respondents were undecided on the issue.

4.2 Test of Hypotheses

Two hypotheses formulated for this this studywere tested here.

Ho1: There ifinancial incentives and work s no significant relationship between training and increased competence for staff in the selected manufdacturing firms in Lagos State

Ho2: There is no significant relationship between financial incentives and work habits for staff in the selected manufacturing firms in Lagos State.

We employed the chi-square (x2) analytical method to test and analyze the hypotheses as stated above,

$$X2 = \frac{\text{Sunnation(of - Ef)2}}{\text{Ef}}$$

Wgere x2 = chi-square
Of = Observed requency
Ef = Expected frequency
Z = Summation sign

To tesrt these hypotheses, the researcher selected relevant questionnaire items from the corresponding section.

To test the first hypothesis, data in tables 4.4 and 4.8 were used,

The data ibtained by these questionnaire items were tabulated into a contingency table.

Table 4.10: Test of Nypotheses (1) contingenct table

Options	Data		Total
	Rable 4.4	Table 4.8	
SA	42	60	102
UD	0	5	68
D	8	0	5
SD	5	0	5
Total	94	94	188%

SourceL Field surveym 2025

The next logical dara was to calculate Ef *Expected frequencies) for the already observed freauencies (of) labelled 1,2 … 10 in an italic format in the table.

$$E1 = \frac{102 \times 94}{138} = 51$$

$$E2 = \frac{68 \times 94}{\ldots\ldots\ldots\ldots} = 34$$

188

E5 = 5 x 94
…….. = 3
188

E6 = 102 X 94
---------- = 51
188

E7 = 68 X 94
……. = 34
188

E8 = 5 X 94
…….. = 3
188

E9 = 8 X 94
…….. = 4
188

E10 = 5 X 94
……. = 3
188

Aookying the formula X2 = (Of - Ef)
……..
Ef

X2 = (42 - 50)2 (38 - 34)2 (0 - 3)2 (8 - 4)2 (5 - 3)2
……. + …….. + ……. + -------- + …….
51 34 3 4 3

+ (60 --51)2 (29 - 34)2 ((5 - 3)2 (0 - 4)2 (0 - 3)2
…….. + …….. + ……. + ……. + …….
51 34 3 4 3

X2 = 1.5 + 0.7 + 1 + 4 + 1.3 + 1.5 + 0.7 + 1.3 + 1 + 3 = 16
X2 = 16

Next. We shall calculate the degree of freedom (df)
(df = (r - 1) (c - 1)

Where:
df = degree of freedom
r = the number of rows
c = the number of columns in the contingency table 4.8
df = (5 - 1) (2 - 1) = 4 x 1 -= 4
At 5% (0.05) level of significance, when df = 4, the corresponding value of x2 on the critical table of x2 values = 9.49

Decision
Since the calculated value of x2 (16) is greater than the critical value of x2 (9.49), we reject the null hypothesis (Ho) and accept the alternate hypothesis (H1), which would state thus: There is a significanct relationship between training and increased competence for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

Table 4.11: Test of hypothesis (2) contingency table

Options	**Data**		**Total**
	Table 4.6	Table 4.7	
SA	50	55	105
A	20	24	44
UD	2	5	7
D	12	10	22
SD	10	0	10
Total	94	94	188%

The next logical step was to calculate Ef (Expected frequencies) for the already observed frequencies (of0 labelled 1.2 …. 10 in an italic format in the table.

$$E1 = \frac{105 \times 94}{188} = 53$$

$$E2 = \frac{44 \times 94}{188} = 22$$

$$E5 = \frac{10 \times 94}{188} = 5$$

$$E6 = \frac{105 \times 94}{188} = 53$$

$$E7 = \frac{44 \times 94}{188} = 22$$

$$E8 = \frac{7 \times 94}{\ldots\ldots} = 4$$

188

E9 = 22 X 94
…… = 11
188

E10 = 10 X 94
……. = 5
188

Applying the formula X2 = (Of - Ef)
……
Ef

X2 = (50 - 53)2 (20 - 22)2 (2 - 4)2 (12 - 11)2 ((10 - 5)2 (55 - 53)2
……. + ……. + …….. + …… + …… + ……
55 22 4 11 6 53

+ (24 - 22)2 ((5 - 4)2 (10 -11)2 (0 - 5)2
……. + …….. + …… + ……..
22 4 11 5

X2 = 0.16 + 0.18 + 1 + 0.09 + 5 + 0.07 + 0.18 + 0.25 + 0.09 + 5 = 12
Next, we shall calculate the degree of freedom (df)
df = (r - 1) (c - 1)
Where
df = degree of freedom
r = the number of rows
c = the number of columns in the contingency table
df = (5 - 1) (2 - 1) = 4 x 1 = 4
At 5% (0.05)level of significance, when of = 4, the corresponding value of x2 on the critical table of x2 valkues = 9.49

Decision
Since the calculated value of x2 (120 is greater than than the critical value of x2 (9.49), we reject the null hypothesis (Ho) and accept the alternate hypothsis (H1), which would state that there is a significant relationship between financial incentives and work habit for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Niigeria.

4.3 Major Findings
The major findings of this study were as follows:
1. There was a significant relationship betweentraining and increased competence for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State. The greater the training, the higher the level of workers performance and competence on the job. Training and development is used by many organizations to enhance the motivation of their employees. The availability of training and development opportunities is a motivating factor for employees in the organization. Beardwell and Holden (2024) indicate that the emphasis on trauning in recent years has led to many organizations investing substantial resources in employee training and development. Through training employees acquire more skills and capabilities to provide high quality service.

2. There was a significant relationship between financial incentives and work habits for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. Provision of adequate financial incentives enhance positive work habits. This finding corroborates that of Berjum and Lehr (2022) which showed that subjects who received individual financial incentives performed better than those who did not receive. And workers exhibited productive work behaviour when monetary rewards were made contingent upon performance.
3. Recognition of good performance enhanced successful completion of tasks by employees. Recognition lets the staff know that their work is valued and appreciated. This gives an employee a sense of belonging and ownership at the workplace, improves morale and increase motivation.

5.0 SUMMARY, CONCLUSION AND RECOMMENDATION

5.1 Summary

This study had assessed the impact of employee motivation on workers performance in the selected manufacturing firms in Lagos State of Nigeria. Motivation in this study was viewed as an innate force, shaped and maintained by a set of highly individualized factors that may change from time to time depending on particular needs and motives of the employees. Motivation is a product of multiple interacting factors which may be intrinsic or extrinsic to the employees. The motivational factors considered in this study were training, recognition and financial incentives. Their impact on workers performance was assessed.
The survey research designed was employed in the collection of and analysis of data for the study. The results of the analyses showed that financial incentives had significantn effect on the work habits of employees of the selected manufacturing firms in Lagos State of Nigeria. Also, training in the form of coaching, counselling, mentoring, seminars and courses had significant effect on employee performance on the job. Thus, the provision of adequate trainoing and financial incentives would help to improve the performance of workers of these selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

5.2 Conclusion

Human resources are the livewire of any organization. Its effective management is therefore crucial and central in the realization of organizational objectives such as high performance. The provision of efficient and effective servicess that meet the expectation of the citizenry is the goal of every private and public organization involved in service delivery. Motivation is an indispensable element in an organization used to stimulate workers for higher performance and effective service delivery.
In today's world, employees' needs have also been intensified. Since employees are an organization's most important important resource, satisfying and retaining employees has become a major focus for managers and leaders of organizations. To do this effectively, managers must keep their employees motivated so that their talented employees stay in the organization and perform at their best.
There are many different ways of motivating employees. Every motivation theorist comes up with a different approach. Motivators differ from employees to employee, and also differ according to the organization. To do their job effectively, managers and leaders of organizations need to take time and effort to understand what their employees are looking for in their work and try to meet these needs and wants to the best of their ability.

The provision of adequate training and financial incentives to workers will enhance their performance and the quality of service they provide in the organization.

5.3 Recommendations

In line with the findings of this study, the following are recommended.
1. Manufacturing firms should expand its training programmes and career development opportunities to enable the workers acquire greater skills and perform more effectively.
2. Financial incentives should be provided to the staff of manufacturing firms on regular basis to enhance positive work behaviour and better performance.

3. The management of these manufacturing firms should always ensure the recognition of good performance through praises, appreciation letters, merit awards and other means to boost the morale of staff and enhance performance.

REFERENCES

Adomi, E. E., Eruvwe, J. (2024). Staff discipline in nigerian university libraries. Library management, 223-229.
Armstromg, M. (1999). Human Resource Management (7th ed). London: Kogan Page.
Armstrong, M. and Muris, H. (2004). Reward Management: A Handbook of Remuneration Strategy and Practice, 5th Ed. London: Kogan Page.
Aworemi, J. Et al (2011). 'An Interest' . Journal of Economics and Finance, Fol. 3, No. 5, October 2011.
Buckley, R., & Cample, D. (2020). Theory And Practice of Training. London: Kogan Page.
Ekakite, E. (2020). ''GSM Firms: wHAT Manner of Competition?'' the Enterprise, International Research Journal for Development Vol. 7, No. 5
Eze, N. (2025). Human Resource Management in Africa, Lagos: Zomex Press
Greenberg, J., Baron, R. A. (2020). Behaviour in Organization (7th ed,), Upper Saddle Rive, New Jessey: Prentice-Hallth
Greenberg, J. & Baron., Robert, A. (2023). Behaviour in Organizations: Understanding and Managing The Human Side of Work., (5th Ed) New Jessey: Prentice-Hall.
Gunu, U. (2023), Job Satisfaction Among Staff of Selected Public Enterprises in Kwara State, The Abuja Management Review, Vol. 1, No. 3, pp. 219-228.
Huit, W. (2017). Maslow's Hierarchy of Needs, Educational Psychology Interactive, Valdosta, G. A: Valdosta State University.
Ikpeazu, 0. (2019). Enhancing Work Performance in the Nigerian Civil Service: Aba: Achugo Publishers
Isaac, A. (2018). Motivating Civil Servants for Higher Productivity. Journal of Business Management, Vol. 2, No. 1 & 2, pp. 54-68.
Karwai, S. A. (2015). Motivation and Frustration in Organizations, Journal of Management and Social Sciences, Vol. 10, pp. 97-105.
Kelech, B. (20030. Evaluation of Career Development Programmes in the Abia State Civil Service: A Study of Selected Ministries. Unpublished M.Sc Thesis. Faculty of Social Sciences, IMSU, oWERRI.
Kreitner, R., & Kinicki, A. (2018). Management (6th ed.). Boston: Irwin/McGraw Hill.
Kreitner, R. (2025). Management (6th ed.). Boston: Houghyon, Mifflin Company.
Lindner, J. R. (2018). ''Understanding Employee Motivation''. Jpornal of Extension, 36(3).
MANforum (2019). It's Always About The Boss, THE MAN GROUP MAGAZINE, Issue 03/2019, pp. 10-13.
McClelland, D. C. (1961). The Achieving Society, New York: General Learning Press.
McGregor, D, (1960). The Human Side of Enterprise. New York: McGraw-Hill.
Nzuve, S. N. M. (2019). Elements of Organizational Behaviour, Nairobi: Tech and Pro AssociatesPublishers.
Ogunna, F. O., Ogunrin, O., & Akerele, A. (2017). Motivating Nigerian Doctors for Improved Healthcare Delivery. International Journal of Healthcare Quality Assurance, 290-306.
Rainey, G. (2021). Work Motivation, in R. T. Golebiewski (ed.)., Handbook of Organizational Behaviour, pp. 19-39, Marcel Dekker.
Robbins. P. S. (2009). Organizational Behaviour (10th ed) New Jessey: Prentice-Hall.
Robbins, S. P. (1998). Organizational Behaviour (8th ed), New Jessey: Prentice-Hall
Robinson, J. (2020). Disengagement Can Be Really Depressing, Gallup.
Schll, R. W. (2016). Diferentiating from Expectancy as a Motivating Factor. Academy of

Management Review 6: 589-599.
Tosi, H. L., Rizzo, J. R. and Carrol, S. T. (2016). Managing Organizational Behaviour (3rd ed.) Massachusets: Blackwell Publishers.
Ubong, U. (2009). Motivation and Performance in the Cross River State Civil Service. Umpublished M.Sc Thesis, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Anambra State.
Unanka, F. M. (2009).' 'Assessment of Motivational Techniques in Imo State Transport Corporation. ''Unpublished M.Sc Thesis, Faculty of Social Sciences, Imo State Uni - versity, Owerri.
World Bank (2009). World Development Report 2004. Washington DC: World Bank.
:

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

AN APPRAISAL OF SUCCESSION PLANNING IN FAMILY-OWNED BUSINESSES IN NIGERIA:EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED SMEs IN LAGOS STATE, NIGERIA

DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)
Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja, Nigeria

ABSTRACT
Family-owned businesses in Nigeria and other nations of the world play important roles in economic growth and development some of which include creation of employment opportunities, maintenance of competition, stimulation of indigenous entrepreneurship, wealth creation, innovations and creativity, foreign exchange earnings, mobilization of savings, and contribution to the GDP. Despite these vital roles, family-owned enterprises in Nigeria are faced with the problem of succession as about 95% of family businesses do not survive the third generation of ownership. Hence, this study conducted an assessment of succession planning in family-owned businesses in Nigeria drawing empirical evidence from some selected SMEs in Lagos State. Management succession planning in family-owned businesses in Nigeria were studied to determine how family-owned businesses manage succession and continuity of family-owned businesses in Nigeria, with the aim of identifying the factors preventing smooth succession in family-owned enterprises. Data were elicited from questionnaire administered. The study adopted purposive research design, the population of the study was (3,500) and sample size studied was 350 business owners/manager, using a simple random sampling of 10% of total population. Data were analysed using descriptive statistics. The hypotheses were tested with multiple regressions. The findings revealed that the lack of succession plan is not the significant factor responsible for the problem of succession despite the fact that most family enterprises lack succession plan. There are other factors responsible for the problem of poor succession in family-owned businesses in Nigeria
Keywords: Owner-entrepreneur, Succession planning, Family-owned business, Successor, Lagos, Nigeria

1. Introduction

According to Abouzaid, (2008), family-owned businesses constitute the world's oldest and most dominant form of business organization. They account for about 70-95% of all businesses entities in most countries around the world and also create between 50-80% employment (European Family Businesses, 2012). According to Small and Medium Enterprises Development Agency of Nigeria (SMEDAN) (2012), family businesses in Nigeria contribute about 46-54% to Gross Domestic Product in 2014. The ''European Group of Family Enterprises'' and the ''Family Business Network'' (2008), defines family business as a company whose ownership and management are concentrated in one or more families, with at least one member of the family at the helm and control of the business and others are being groomed or considered for eventual leadership. Furthermore, Suh et al., (2008) believed that family business can be defined using the following criteria: voting control, percentage of ownership, power over strategic decision, involvement of multiple generations, and active management by family members. Thus, family business can be defined as a business in which the family has influence or control over both the ownership and management operations (Cabrera-Suarez, 2005).

In the United States of America (U.S.) family businesses constitutes 90 percent of businesses, accounts for 64 percent pf U.S. gross domestic product, generate 62 percent of the country's employment, and account for 78 percent of all new job creation (Astrachan and Shanker, 2003). This is to such extent that the greatest part of America's wealth lies with family-owned businesses. Furthermore, studies have shown that about 35 percent of Fortune 500 companies are family-controlled and represent the full spectrum of American companies from small business to major corporations (Astrachan and Shanker2003). In North America, family firms comprise 80 to 90 percent of all business enterprises (Astrachan and Shanker, 2003).

On the other hand in Africa, family-run businesses tend to be less formal or institutionalized than their counterparts in the developed economies. They sometimes lack the history, expertise and government support found in other parts of the world and as a result, these businesses have a tendency to be short lived and rarely pass to a second generation of owners. Hence, operating and growing family businesses in Africa requires more efforts and home-grown strategies to survive than their counterparts in developed countries. Though a recent study (Oluwafunmilayo, Olokindun, Moses, & Grace, 2018) believed that entrepreneurs that hail from existing family business have a tendency to keep up in business. However, most developed countries' literature concentrates on performance and dynamics issues in the short term while looking at strategies for growth and succession on the long run.

Another reason may be that in most international discussions, as well as global publications and documents, when a nation is considered developed or advanced, it is an indication that the private sector, dominated by entrepreneurs and SME sector of that nation is developed. When a nation is described as under developed or developing, its private sector is under developed or developing. This could also be the reason why many higher educational institutions in developed economies offer family business programs or degree at bachelor and master's level unlike in developing economies

The poor survival rate of family firms is a continuing source of concern given the dominance of family businesses in so many national economies all over the world as only 13 percent survive through the third generation (Sharma, 1999). According to Davis & Haverston, (1998) just 30% of family businesses see the light of the day beyond the first generation while about 10% to 15% go beyond third generation. In Nigeria more than 70% of Small and Medium Size Enterprises (SMEs) die before their founders as most of them are not able to survive a generational transition (Lansberg & Astrachan, 1994; Nworah, 2011). This problem is as a result of inheritance culture that influences management succession because, without qualified successors, there cannot be generational enterprises (Onuoha, 2013). According to Ugboro, (2011) Nigerian society thrives on sentiments with people occupying positions they should not because they are related to people at the helm of affairs with owners of businesses usually passing the reins to members of families, especially the eldest child even if not qualified, interested or knowledgeable enough to know their left from right, The right of the eldest surviving son to succeed his father in the headship of the family and his commercial ventures is automatic and arise as a result of seniority (Onuoha, 2010).

The current failure of family-owned businesses (FOB) in Nigeria has necessitated the training of individuals with valuable skill sets in the short term who can become valuable for the business in the long-term (Babey, Hagel, Montilla, Robins, & Harris, 2016). Babey et al. (2016) further pointed out that many in-service skilled workers from the 1980s era in Nigeria, who might be able to pass on their valuable skill sets, are leaving the industry at an alarming rate. In this context, inadequate preparation and the downplaying of succession planning hav badly hit the industry and the future success of family businesses, affecting the rebound of business activities among small and medium enterprises (SMEs). An increasing number of founders of family-owned businesses (FOB) are becoming eligible for retirement. This is particularly true for engineers, geologists, skilled labourers, and experienced executives. Such roles are difficult to fill because the demand is high and there are fewer individuals with experience in these areas (Babey et al., 2016). Alvani, Souteh, Jandaghi, and Inaloo (2016) noted that slightly more than half of FOB do not have a signed, documented succession plan in place, and that a few companies recently started implementing a succession plan.

Alvani et al. (2016) asserted that succession planning enables an organization to identify its knowledge gaps and to foster and train its employees, so they are able to express their desires about career development in a safe, active, and comfortable environment. Effective successive planning helps to identify positions that are critical to organization success and enhances the strategic effort to prepare individuals to take up new roles. Supporting the influence of succession planning on knowledge management transfer, Alvani et al. (2016) stated that the main aim of a comprehensive succession plan should be to transfer the knowledge possessed by key individuals before they leave the organization sue to retirement or voluntary exit.

The lack of succession planning in Nigeria is a serious problem militating against the survival of family-

owned businesses as 94.2% of entrepreneurs do not have a succession plan (Onuoha, 2013). Despite the challenge posed by a lack of succession planning, most studies failed to examine succession planning and its effects on the continuity of family-owned enterprises in Nigeria. Few of the research conducted on succession planning tend to focus more on the small and medium scale enterprises, paying less attention to family-owned businesses. This situation is appalling, considering the fact that a large majority of SMEs are family-owned enterprises (European Commission, 2009).

The purpose of this research, therefore, is to carry out an in-depth appraisal of succession planning for the purpose of identifying the factors preventing smooth succession in family-owned businesses in Nigeria. This paper is structured into six sections; the first section is this part which introduced the topic. The second is the literature review which presents previous studies on succession planning in family enterprises. The third section presents the research methodology while the fourth section presents the findings and discussions. The fifth section is conclusion while the last section is the limitation of the study.

2. Literature Review

2.0 Conceptual Review

2.1 Concept of Family Business

Onuoha, 2012, posited that family-owned businesses may be the oldest form of business organization, but it is only in recent decades that their benefits and roles in the economy is being researched into. According to him, more than 70 percent of companies in most developed countries are family-owned. The contributions of SMEs and family-owned business in an economy are numerous, diverse and integrated.

Some of them include: stimulation of indigenous entrepreneurship, creation of thousands and millions of employment opportunities and openings, maintenance of competition, greater innovations and creativity, paying taxes, earning foreign exchange, mobilising savings and contributing reasonably to a nation's gross domestic product.

A huge amount of consensus is required to define the family business and many factors are needed to differentiate family businesses from other form of businesses. The family member's involvement in family businesses can vary from ownership of shares to full involvement of members in the business. These factors lead to the difficulty in defining the ''family business'' (Neuebauer and Lank, 1998). Handler (1989) offered a broad definition of the family business as ''an organization where all the operating decisions and the plans related to leadership successions is effected by the family member who is in the management or board''. Moreover, it is found that family-owned businesses are in micro and small businesses because it is found that family businesses are fast growing and prosperous businesses.

Generally, a business that is owned and managed by one or more than one family member is called family business (Handler, 1989; Hollander & Elman, 1988). Davis and Tagiuri (1982) defined family business more broadly as businesses where one or more extended family members are involved in management of the business through practice of management roles, ownership rights or kinship ties.'' Furthermore, Gallo (1994) described family businesses as indispensably similar all over the world due to their issues, problems and interests.

Family businesses may include various combinations, including husbands and wives, children and parents, extended families, two or more generations in the forms of employees, stock holders, advisors, partners, board members, and so on (Lannarelli and Bianco, 2010). The scenario of multiple membership of family businesses is mostly common in the U.S. and Europe. In most developing countries, including Nigeria, ownership and membership of family enterprises are limited to nuclear and sometimes, the extended family, coupled with conflicts that may also account for the reason why family businesses have high mortality rate in Nigeria. The proportion of the economy which the family businesses occupy in some of the important economies are as follows: Brazil – 90%, USA – 96%, Belgium – 70%, UK – 70%, Finland – 80%, France – 60%, Germany – 60%, Netherlands – 74%, Poland – 80%, Portugal – 70%, Spain – 79%, UK – 70%, Australia – 75%, (Timmons and Spinelli, 2009). The percentage in the World is similar if not more. These statistics underscore the dominance of family businesses in most economies.

2.2 Why Family Businesses Fail?

Family enterprises forms the backbone of any economy, with families owning or controlling 80 percent of all businesses. But studies have shown that only 30 percent of the family businesses survive into the second generation while even less continues to the third. Qurashi, Hussain, & Mushtaq, (2013) in their work 'The Dilemma of Success and Failure in Family Business'' examined the circumstances and setbacks of the family owned business in Pakistan. They ascribed success of family business to having a clear vision, shared values, clear procedure, expectations and proper succession plan. Notably, the success of family business inevitably comes down to the fine art of integrating and balancing the needs between ownership, family and business. According to Golob (2018), family businesses struggle and fail some reasons which include:

2.2.1 Lack of Proper Planning

All businesses require planning, but family businesses face the additional planning task of balancing family and business demands. There are five critical issues where the needs of the family and the demands of the business overlap and require parallel planning action to ensure that business success does not create a family or business disaster. They are:

a. Capital: How are the firm's financial resources sourced and allocated between different family demands?
b. Control: Who has decision-making power in the family and firm?
c. Careers: How are individuals selected for senior leadership and governance positions in the firm or family?
d. Conflict: How do we prevent this natural element of human relationships from becoming the default pattern of interaction?
e. Culture: How are the family and business values sustained and transmitted to owners, employees and younger family members?

2.2.2 Poor Succession Planning

One of the fundamental problems of the family business is the lack of an adequate succession plan. Many of the family businesses did not have a succession plan in place, and few of those that did had designated a specific person to take the reins. However, succession can require a multi-stage process of growing involvement and it's crucial for predecessors to dedicate time to creating a business roadmap. Planning cannot be done in isolation of the family.

There appear to be two main factors affecting the development of family business and succession process: the size of the family, in relative terms the volume of business, and suitability to lead the organization, in terms of managerial ability, technical know-how and commitment (Arien, 2010). Arien proposed a model in order to classify family firms into four scenarios: political, openness, foreign management and natural succession.

One of the largest trends in family business is the amount of women who are taking over their family firms. In the past, succession was reserved for the first born son, then it moved to any male heir. Now, women account for approximately 11-12% of all family firm leaders, an increase of close to 40% since 1996. Daughters are now considered to be one of the most underutilized resources in family businesses. To encourage the next generation of women to be valuable members if the business, potential female successors should be nurtured by assimilation into the family firm, mentoring, sharing of important tacit knowledge and having positive role models within the business.

2.2.3 Family Conflict

Mutual support among relatives is key for instilling loyalty towards the family business. Many families lack procedures that help manage conflict in an objective and productive way, so seeking outside help is often necessary to help the family out of seemingly irresolvable issues. The challenge faced by family, businesses and their stakeholders, is to recognize the issues that they face, understand how to develop

strategies to address them and more importantly, to create narratives, or family stories that explain the emotional dimension of the issues to the family.

2.2.4 Different Visions between Generations

Generational conflict ban hinder the growth of family businesses. This is especially true of disagreement in core values and missions exists. The next generation should be cautious not to reject established work methods and entrepreneurial vision, just as predecessors should demonstrate flexibility in exploring new management strategies and ideas for innovation.

2.2.5 Governance Challenges

Business families do not need to just consider corporate governance. In addition to corporate oversight, they require family and shareholder governance infrastructure. Family governance requires family meetings, councils or assemblies which requires time and commitment.

It is crucial to communicate and create a flow of information between owners, the business and the family. Many members fear raising sensitive issues, losing control or sharing too much information. Without governance, members are confronted with exclusion and secrecy, assumptions and procrastination.

2.2.6 Exclusion of Family Members outside the Business

Family members has an investment and the overall assets of the family, whether they are active in the management of the business or assets, the business and assets impact lifestyle, health and happiness of everyone in the family business.

2.3 Empirical Review

This section review extant literature on succession in small and medium scale enterprises (SMEs), particularly family-owned businesses. Some of these studies include the work of Obadan & Ohiorenoya (2013) that examined succession planning in small businesses in the hotel industry in the ancient city of Benin-Nigeria and found that most of the small businesses have no succession plan in place. They further found that the ability and the competence of potential successors are not put into consideration. Ogundele et al. (2012) in their studies of entrepreneurial succession problems in Nigeria's family businesses found that the succession law coupled with the multi-cultural nature of Nigeria serve as the stumbling block to smooth succession in family-owned businesses. They also stated that the existing laws on succession are ambiguous as they encompass the native laws and customs of the people.

Musa & Semasinghe (2014) examined leadership succession problem in small family businesses in Nigeria and found that most founders of family-owned firms failed to embark on succession planning due to fear of losing control of the business to subordinate or any member of the family. In addition to their findings, they also discovered that the problem of inheritance among family members militate against the continuity of family enterprises.

Onuoha (2013) study on poor succession planning by entrepreneurs in Nigeria found the following factors to be responsible for poor succession. These include entrepreneurs' feelings of sound health, lack of interest by potential successor; entrepreneurs' lack of knowledge of what succession planning entails; and the fear of mismanagement. In the same vein,

Aderonke (2014) research on culture determination and family business succession in Jos, Nigeria found that cultural factors such as extended family system, inheritance tradition (such as preference for sons, marriage) and education have significant impact on the successful of family enterprises.

The foregoing studies highlighted several factors that tend to inhibit the succession and continuity of family-owned businesses in Nigeria. It is pertinent to mention the common factor, as noted above, often mentioned as the cause of succession and continuity problem in small and family businesses in Nigeria is the lack of succession planning. Hence, the aim of this study is to conduct an appraisal on family-owned businesses in Lagos in order to bring to bear the lack of succession planning is significantly responsible for the problems

of succession.

3. Methodology

The study adopted a purposive sampling technique to select 350 participants (owners/founders of family businesses) in Lagos State, Nigeria, from the population. The study was conducted in Lagos State due to the unorganized association of family-owned enterprises in Nigeria and the lack of access to information. Besides, Lagos is the commercial hub of Nigeria as 60% or 70% of businesses and industrial transactions are executed in Lagos (Lucky et al., 2011).

A total of 275 usable questionnaires were completed and returned, providing a final return rate of 79%. Purposive sampling is also known as judgemental, selective or subjective sampling. It is a type of non-probabilistic sampling that relies on the judgement of the researcher when it comes to selecting the units that are to be studied. The rationale for using this technique is that it is suitable for qualitative or mixed methods (both qualitative and quantitative) research design and it is also popular in qualitative research.

The study used primary data, which were collected through the administration of questionnaires to founders/owners of family-owned enterprises in Lagos State, Nigeria. The questionnaire consist of a combination of both close-ended and open-ended questions. A seven-point Likert scale, which ranges from strongly disagree and strongly agree, was used to rate the responses from respondents.

The data analysis technique employed in this study include descriptive and factor analysis. The study used descriptive analysis to summarize the profile of participants. Factor analysis was equally employed to reduce the data and choose those items that actually measure the constructs in the study.

It is also important to state that the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) software was used in running the analysis.

4. Results and Discussions

4.1 Nature of the Business

Table 1: Nature of the Family Business

Nature of Business Activities	Frequency	Percentage
Commercial	3	15%
Manufacturing	4	20%
Construction	1	5%
Service	10	50%
Others	2	10%
Total	20	100%

Table 1 depicts that most of the family-owned enterprises in Lagos State are service-oriented followed by manufacturing firms. A possible explanation for this is that the cost of setting up manufacturing firms in Nigeria is very high, coupled with unfavourable business environment. Most raw materials requisite for production cannot be sourced locally, and the cost of importation is rising due to the falling value of the naira.

4.2 Geographical Origin of Managing Director

Table 2: Geographical Origin

Geographical Origin	Frequency	Percentage
South-West	**5**	**25%**
South-South	6	30%
South-East	6	30%
North-East	3	15%
North-Central	0	0
North-West	0	0
Total	20	100%

Table 2 indicates that most family-owned businesses in Nigeria are centred in Lagos state as virtually all the six (6) geo-political zones (except for North-Central and North-West regions) are represented. This however, validate the assertion by Lucky et al. (2011) that 60-70% of family-owned firms in Nigeria are centred in Lagos state.

4.3 Number of Employees

Table 3: Number of Employees

Number of Employees	Frequency	Percentage
None	0	0
1-9 (Micro)	2	10%
10-49 (Small)	7	35%
50-100 (Medium)	5	25%
101-249 (Large)	2	10%
250 or more (Large)	4	20%
Total	20	100%

Table 3 reveals that about 55% of the family-owned businesses are medium and large businesses which employ an average of 50 employees (medium) and 125 employees (large). These results suggest that, these family-owned firms absorb a reasonable proportion of persons thereby creating employment.

4.4 Succession Planning

Table 4: Rating of Succession Planning in Family Businesses

	1	2	3	4	5	6	7		
Succession Planning	**Strongly Disagree**	**Disagree**	**Slightly Disagree**	**Neutral**	**Slightly Agree**	**Agree**	**Strongly Agree**	**Mean**	**SD**
Formal, written succession	**2 (10%)**	**6 (30%)**	**2 (10%)**	**6 (30%)**	**2 (10%)**	**0 (0%)**	**2 (10%)**	**3.40**	**1.73**

plan exist in the company									
Inheritance issue and plans have been clearly addressed within the family	1 (5%)	6 (30%)	1 (5%)	6 (30%)	0 (0%)	2 (10%	4 (20%)	4.00	2.03
The company has formal criteria for choosing a successor	1 (5%)	6 (30%)	2 (10%)	5 (25%)	2 (10%)	3 (15%	1 (5%)	3.70	1.72
All the family members working in the company are aware of the succession plan.	3 (15%)	6 (30%)	2 (10%)	4 (20%)	0 (0%)	2 (10%	3 (15%)	3.50	2.09
It is important that a successor has worked outside the organization before joining the business	2 (10%)	3 (15%)	2 (10%)	0 (0%)	7 (35%)	4 (20%	2 (10%	4.45	3.88
Family members joining the business are given preferential positions.	3 (15%)	5 (25%)	3 (15%)	3 (15%)	3 (15%)	2 (5%)	1 (5%)	3.40	1.82
There is a clear commitment from the successors to the business.	0 (0%)	4 (20%)	1 (5%)	6 (30%)	0 (0%)	3 (15%	6 (30%)	4.75	1.94
There exists sibling rivalry within the	5 (25%)	6 (30%)	3 (15%)	7 (35%)	3 (15%)	2 (10%	0 (0%)	2.85	1.75

family business.									
There is currently a clear identified successor for the business.	1 (5%)	7 (35%)	0 (0%)	5 (25%)	1 (5%)	2 (10%	4 (20%)	4.00	2.08

Table 4 shows the results of respondents' views on the matter relating to succession planning. The results reveal that most of the family-owned businesses do not have formal written succession plans and do not have formal criteria for choosing successors. This outcome lends credence to the assertion by Onuoha (2013) that about 95% of family-owned enterprises in Nigeria do not have a succession plan. The result also dhows that even where succession plans exist, not all the members of the family are aware of such plans. The results further indicate that only a few of these firms address inheritance issues and plans within the family'

Majority of the respondents, however, subscribed to the fact that the potential successor need to work and acquire experience from other organizations before joining the family business. About 55% of the respondents indicate that other family members are not given preferential positions in the business. Furthermore, 70% of the respondents deny the existence of sibling rivalry in the family business. This implies that despite the lack of formal succession plan, family members are aware of the potential successor.

The reason for that is that most culture in Nigeria believes that the first son of the family is always the heir-apparent even though he is unsuitable for the position. Consequently, culture significantly influences successors in family businesses in Nigeria (Aderonke, 2014; Musa & Semasinghe, 2014; Ogundele et al., 2012).

5. Conclusion

This study has shown that family-owned businesses in Lagos state, the commercial hub of Nigeria, do not have a formal and well-written succession plan and procedures. The study, however, reveals that the lack of a succession plan is not the significant factor responsible for the problem of succession in family-owned firms in Nigeria. This is because, most Nigeria's culture and tradition believe that the first son of the founder is usually the heir to the family business. This justifies why there is less-existence of sibling rivalry in the family. Consequently, this study concludes that even though most family enterprises lack succession plan, there are other significant factors responsible for the problem of poor succession in family-owned businesses in Nigeria, as elucidated in this study.

6. Limitation of the Study

This study is limited by a sample collected from Lagos State. Although one can assume that the results reported would also be considered important in other parts of Nigeria. Hence, there is a need to conduct further studies in the future using a larger sample size. The findings also provide direction for further research. It is important that more empirical studies ve conducted as regards the issue of succession in family-owned firm in Nigeria in order to bring to bear other factors inhibiting succession in family-owned businesses.

References

Abouzaid, S. (2008). IFC family business governance handbook. Retrieved from http://www.ifc.ptg/wps/wcm/connect/159c9c0048582688.

Aderonke, J. (2014). Culture determinants and family business succession in Jos Metropolis, Plateau State, Nigerian Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences, 5(5), 379 – 390.

Cabrera-Suarez, K. (2005). Leadership transfer and the successor's development in the family. Leadership

Quarterly, 16(6), 71 – 96.
European Commission (November 2009). Overview of Family-Business-Relevant Issues. Research Networks. Policy Measures and Existing Studies. Final Report of the Export Group.
Lucky, I. O. E., Musa, M. S., & Isaiah, A. O. (2011). A conceptual framework of family business succession: bane of family business continuity. International Journal of Busness and Social Sciences, 2(17), 106-113.
Musa, B. M., & Semasinghe, D. M. (2014). Leadership Succession Problem: an Examination of Small Family Businesses. European Journal of Business and Management, 6(34), 301-206.
Obadan, J. A., & Ohiorenoya, J. O. (2013). Succession planning in small business enterprises in Edo State of Nigeria. European Scientific Journal, 9(31), 64-76.
Ogundele, O. J. K., Idris, A. A., & Ahmed-Ogundipe, K. A. (2012). Entrepreneurial succession problems in South-East, Nigeria. AFRREV IJAH. An International Journal of Arts and Humanities, 2(2), 207-227.
Onuoha, B. C. (2013). Poor Succession Planning by Entrepreneurs: The Bane of Generational Enterprises in South-East Nigeria. AFRREV IJAH. An International of Arts and Humanities, 2(2), 270-281.
Onuoha, B. C. (2013). Wealth Creation, Retirement and Succession Planning of Entrepreneurs in South-East, Nigeria. International Business and Management, 7*1), 99-105,
Suh, I., Park, Y. H., & Park, T. (2008). Factors Influencing Business Succession.
SMEDAN & National Bureau of Statistics (2012). Survey Report in Micro, Small and Medium Enterprises in Nigeria: 2010 National MSME Collaborative Survey, Abuja: SMEDAN and National Bureau of Statistics

USTAINABILITY STRATEGIES IN CONTEMPORARY BUSINESS MANAGEMENT: INTEGRATING ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES IN CORPORATE PLANNING (A STUDY OF NIGERIAN NATIONAL PETROLEUM COMPANY LTD., ABUJA, NIGERIA)

DR CHUKWUEMEKA G. EME
Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences National Open University of Nigeria
MR MOHAMMED BAPPAH
PhD Student, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria

Abstract
This study delves into the ways ESG concepts are being incorporated into modern organizational management, shedding light on how they are essential for achieving sustainability and profitability in the long run. Businesses may use ESG principles as a guide to tackle environmental issues, improve society, and establish strong governance processes. In addition to discussing the difficulties that businesses have when trying to use ESG techniques, the research looks at how these strategies affect financial results, risk management, and stakeholder involvement. There is mounting evidence that businesses with robust ESG processes often beat their competitors, and the significance of ESG integration has grown as a result of global trends and regulatory demands. This paper provides practical advice for firms looking to improve their sustainability strategy and outlines best practices for successful ESG integration via literature study and analysis of case studies. The survey methodology was adopted for this study. Primary data collection using the questionnaire and interview technique was adopted in collecting data from 120 respondents. This sample size was arrived at using a simple random sampling technique of 10% of total population of 1.200 employees of the study area. Tables were used in the presentation of the data while the mean (x) and standard deviation (SD) were used in the analysis of data. Cronbach alpha coefficient of 0.70, was adopted to test the reliability of the instrument used. The independent t-test was adopted to test the hypothesis for the study while the SPSS Version 26 was utilized in further analysis of study data. The research shows that organizations need to make sure their sustainability efforts are supporting their larger strategic goals, which means they need to link their ESG goals with their entire organizational objectives. In order to help organizations navigate the difficult world of sustainability, this study attempts to provide a path for ESG integration. By doing so, they may eventually contribute to increased performance.
Keywords: *Sustainability, Environmental, Social, and Governance (ESG). Tripple Bottom Line, Risk Management, Corporate Social Responsibility (CSR)*

1.1 Background to the Study

From an afterthought to a top strategic objective, sustainability is now an essential factor in modern organizational management. A growing number of businesses throughout the globe are realizing they need to change the way they do business to be more environmentally conscious, socially responsible and accountable. To tackle these sustainability difficulties, firms may use the ESG framework, which integrates environmental, social, and governance principles. Not only do ESG principles aid in risk mitigation, but they also provide new potential for value creation, boost reputation, and guarantee sustainability in the long run. International accords like the Paris Agreement and domestic rules requiring more openness and responsibility from companies are propelling this change. It has been seen in the market that organizations that prioritize environmental, social, and governance (ESG) issues tend to have superior financial performance,

employee engagement, risk management, and consumer loyalty, over time compared to their competitors.

Sustainability management is about stakeholders' view of corporate governance (Davis, et al., 2011; Donaldson et al. 2013; Clarkson 2012) and has been a subject of intense debate in academic literature. According to the United Nations World Conference on the Environment & Development Report, WCED (1987:43) popularly referred to as the Brundtland Report, sustainable development, is viewed as development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs. The concern on sustainability reflects the way managers run the companies, as well as the behavior of worldwide societies towards sustainable practices or actions. The commitment to creating organizational wealth in a manner that is economically, technologically, and socially sustainable, challenges conventional thinking about nature and sources of corporate success (Post et al., 2015, p.214). There is actual relationship amongst markets, corporations, government and sustainability, in which the government plays regulatory role in sustainability and environmental standards provision. Wilkinson and Hill (2007) describe how such complex relationship is predominant in most sustainable actions and corporate plan. They also stressed the fact that governments cannot solve the world's natural problems alone, if the economic environment is unsupportive. With organizations going global, government control on businesses has reduced. Businesses are faced with commercial pressures to adhere to environmental practices; such as customers complaining of depletion of non-renewable resources and accuse businesses of disrupting environmental scene. Also, there are internal pressures on organizations relating to sustainability of human resources, which manifests on staff turnover, decreasing firm loyalty, increasing work hours and stress levels, and levels of satisfaction.

Wilkinson and Hill (2007) affirm that for an organization to ensure long-term business success and ecological survival; human and sociological sustainability need to be addressed. Lo and Shen (2007) in their study on some US firms, finds that a strong interaction of corporate sustainability and sales growth in firm value exist. Post et al, (2002) provide some preliminary evidence that support the proposition that corporation which chooses CSR may perform better than those that continue to embrace a more traditional management perspective. Verschoor (2008) in a study of 500 public corporations found that those that mentioned their commitment to interests and codes of conduct in their annual reports (more than 100 firms) reported superior financial performance to those that did not. Another study indicates that managerial attention to employee and customer stakeholders is associated is associated with favorable financial performance (Berman et al. 2009; Sam (2011) also affirms that adhering to sustainability principles outperform those that do m=not. These assertions suggest that organizations with marketable sustainable development strategies are more likely to be rewarded by investors with a higher valuation in the financial markets. Paramanathan et al. (2004) in relating sustainability and technology management, stress relationship between implementation of industrial sustainability and contribution technology management research has to offer. Also, Melville (2010) looks at information systems innovation for environmental sustainability and demonstrates the critical role information system can exert on beliefs about the environment, in creating possibilities to sustainable processes and practices in organizations, and in improving environmental economic performance. Aras and Crowther (2008) discuss how corporate governance is fundamental to continuing operation of any corporation. In the same vein, sustainability is also fundamental to continuing operation of any corporation.

The need for substantial changes to company operations, possible upfront expenses, and the intricacy of assessing and reporting, ESG concepts are used in modern organizational

management, how ESG strategies affect company performance, and how to effectively integrate ESG are the main goals of this research. It aims to answer important concerns about ESG principles, such as what they are, how they affect the sustainability and performance of businesses, how to integrate them effectively, and what obstacles businesses encounter. Businesses seeking to adopt ESG practices will find a road map in the study's analysis of successful examples and case studies. The end goal is for ESG goals to be in sync with corporate objectives so that sustainability efforts help achieve larger strategic goals, boost performance, and benefit society.

1.2 Statement of the Problem

Managers within organizations are coming under increased pressure to not only reduce costs, but also to minimize the environmental impacts on their operations. Adopting tactics and procedures that boost a company's profitability while simultaneously favourable impacting society and the environment is what we mean when we talk about sustainability in business management. For a business to be socially sustainable, it must prioritize the happiness of its workers, consumers, and neighbours. Human rights, nowadays are starting to understand the value of fostering inclusive and supportive workplaces, investing in company's capacity to be run in an ethical and transparent manner is a key component of its governance sustainability.

Compliance with rules and regulations, competent leadership, and effective risk management are all part of this. In order to keep a company's reputation intact and earn the confidence of its stakeholders, good governance processes are crucial. Incorporating ESG (environmental, social, and governance) concepts into corporate planning is now essential for success in the long run. More and more, stakeholders like investors, customers, and government agencies are pressuring businesses to show they care about sustainability. Therefore, companies that put an emphasis on ESG considerations have a higher chance of attracting investors, improving their brand image, and gaining a competitive edge. Ultimately, the goal of sustainable business management is to provide long-term value for the organization and for society at large. Businesses may secure their own long-term prosperity and resilience while also making a positive impact on the planet via the adoption of sustainable practices.

1.3 Objectives of the Study

The main objective of this paper was to examine the sustainability strategies in contemporary business management: integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning (a study of NNPC Limited)/ The specific objectives which the paper sought to achieve are to:

i. determine the impact of sustainability strategies on contemporary business management;
ii. examine the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning;
iii. evaluate the importance of the environmental, social, and governance (ESG) principles in achieving organizational sustainability and profitability;
iv. assess the role of NNPC-Headquarters Abuja, FCT in the application of the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning;
v. identify the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja FCT in its application of the ESG principles in corporate planning.

1.4 Research Questions

The following questions were set to be addressed by the study.

i.What is the impact of sustainability strategies on contemporary business management?
ii. What are the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning?
iii. What is the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles in achieving organizational sustainability and profitability?
iv. What is the role of NNPC Headquarters Abuja, FCT in the application of the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning?
v. What are the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja FCT. in its application of the ESG principles in corporate planning?

1.5 Statement of Hypothesis

The following statements were formulated in accordance with the research objectives, and will be tested at 0.05 Alpha level of significance.
Ho1: *There is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management;*
Ho2: *There is no statistically significant impact of the environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning.*
Ho3: *There is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability.*
Ho4: *There is no statistically significant impact of the role of NNPC Headquarters, Abuja FCT in the application of ESG principles on corporate planning.*
Ho5: *There is no statistically significant impact of the challenges and implications for the NNPC Limited in its application of ESG principles on corporate planning.*

1.6 Scope and Limitations

The result of this research is of importance to the management of the corporate organizations, the NNPC Limited itself, and the staff and the government as well as the general public will also be interested in the result of the study. The NNPC Limited itself will benefit from the result of the research as it will help them to do self-assessment performance and identify where it may have to take corrective measures. The staff of the NNPC Limited will in turn benefit from the result of the study as they will be able to know the different methods of risk identification, assessment, and monitoring available to them.
This study is significant in that the findings would be of value to businesses to help them understand the significance of environmental, social, and governance (ESG) principles, adopting and implementing ESG principles in an organization. ESG is important for businesses for several reasons, including, risk mitigation and business sustainability. ESG implementation helps businesses mitigate risks by identifying and addressing environmental, social, and governance factors such as climate change impacts, labour rights violations, corruption and bribery risks, diversity and inclusion practices, and regulatory compliance issues that could potentially impact a company's operations, finances, and reputation.

Businesses can bolster their resilience and sustainability by effectively managing these risks, thus minimizing potential adverse impacts on their long-term success.
Businesses can also increase their investment and opportunities potentials by allowing investors to assess a target's ESG behaviour as part of the due diligence process prior to investment. By incorporating ESG principles into their practices, organizations can demonstrate their commitment to comprehensively addressing stakeholder expectations. By acknowledging the environmental impact of their activities and the associated risks, organizations can contribute to overall environmental sustainability. Prioritizing ESG principles enables organizations to build trust and credibility with their stakeholders and the public, resulting in a positive reputation within the relevant markets. The application of the ESG principles in corporate planning can equally lead to attraction and retention of talent. The social aspect of ESG emphasizes employee welfare, which enables organizations to attract and retain top talent by showcasing a commitment to employee well-being, diversity, equality, and inclusion. This study focuses on examining sustainability strategies in contemporary business management: integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning, adopting a adopting a case study of NNPC Limited. Despite the comprehensive approach of this study, there are several limitations that must be acknowledged. One significant limitation is the availability and quality of data from corporate organizations. The study relies on data from these organizations, which may vary in terms of transparency and reporting standards, particularly concerning their remote work and virtual team policy. This limitation could restrict the depth and accuracy of the analysis. Another limitation is related to the generalizability of the findings. The study focuses on a specific corporate organization (NNPC Limited) which is a major regulatory institution for the oil and gas industry in Nigeria.

1.7 Operational Definition of Terms

The following operational terms were defined as used in this study.

Sustainability: *Sustainability is concerned with the well-being of future generations and in particular with irreplaceable natural resources.*
Sustainability Strategies: *They are the well-articulated plans aimed at achieving the goals and objectives of sustainability. A good example is the United Nations Millenium Development Goals (MDGs).*
Business Management*: This involves planning, leading, coordinating, and controlling the activities of organizational members in order to achieve the organization's aims and objectives.*
Environmental Factors*: These are the negative climatic and natural occurrences which may adversely affect business operations. Such environment factors that may adversely affect business operations may include climate change, global warming, earthquakes, erosion, landslides, etc.*
Social Factors*: Social factors encompasses both interactions among people and their collective co-existence. All spheres of human activities are shaped by interactions between persons either individually or collectively.*
Governance Factors: *Governance is factored into credit ratings in the sense that it reflects and influences management behavior and their dealings with stakeholders. The key factors are ownership structure, and financial structure. Ownership and financial structures include institutional investors, directors, and foreign investors.*

2.0 Literature Review

2.1.1 Concept of Environmental, Social, and Governance (ESG) Principles

In today's increasingly interconnected and environmentally conscious world, businesses are facing growing pressure to integrate environmental, social, and governance (ESG) factors into their operations (Simpa et al., 2024). This introductory section serves to elucidate the significance of ESG integration within business management, offering a clear overview of the strategic framework proposed in this paper which aims to guide financial professionals in effectively incorporating ESG considerations into their organizations' strategies. ESG integration refers to the systematic incorporation of environmental, social, and governance factors into business strategies, decision-making processes, and performance evaluation metrics (Solomon et al., 2024). Environmental factors encompass issues such as climate change mitigation, resource conservation, and pollution reduction/Social factors include labor practices, human rights, community engagement, and diversity and inclusion initiatives. Governance factors pertain to the structure, transparency, and accountability of corporate governance practices, including board diversity, executive compensation, and shareholder rights (Obasi et al., 2024). ESG integration goes beyond mere compliance with regulations, it involves embedding sustainability principles and ethical considerations into the core of business operations. This holistic approach acknowledges the interconnectedness of environmental, social, and governance issues and recognizes their impact on long-term business sustainability and stakeholder value (Simpa et al., 2024). The importance of ESG integration in business models cannot be overstated. In recent years, there has been a paradigm shift in the way businesses perceive sustainability. ESG considerations are increasingly recognized as critical drivers of financial performance, risk management, and long-term value creation.

Firstly, integrating ESG factors into business models can enhance financial performance. Studies have shown that companies with strong ESG performance often outperform their peers financially, attracting investors who prioritize sustainable and responsible investments. Additionally, ESG integration can lead to cost savings through improved resource efficiency, reduced regulatory risks, and enhanced brand reputation, which can translate into competitive advantages in the market (Simpa et al., 2024). Secondly, ESG integration is crucial for managing risks effectively. Environmental risks, such as climate change impacts and resource scarcity, social risks related to labor disputes or community conflicts, and governance risks stemming from poor oversight or unethical practices, can all have significant implications for business continuity and reputation. By proactively addressing these risks and implementing robust ESG management practices, companies can mitigate potential negative impacts and safeguard their long-term viability. Thirdly, ESG integration is essential for maintaining and enhancing corporate reputation and brand value. In today's digital age, consumers, investors, employees, and other stakeholders are increasingly scrutinizing companies' ESG performance and holding them accountable for their actions (Simpa et al., 2024). Companies that demonstrate a commitment to sustainability, ethical business practices, and social responsibility can build trust and loyalty among stakeholders, differentiate themselves in the marketplace, and strengthen their brand reputation.

The strategic framework proposed in this paper provides a structured approach for financial professionals to integrate ESG considerations into business models effectively. It consists of several key components; Assessing Materiality, Identifying and prioritizing material ESG issues that are most relevant to the organization's business model, industry and stakeholders, Integration into Business Strategy, aligning ESG goals and initiatives with overall business objectives, embedding ESG considerations into decision-making processes, and fostering a culture of sustainability throughout the organization (Simpa et al., 2024). Establishing key performance

indicators (KPIs) and metrics to track ESG performance , ensuring transparent reporting to stakeholders, and leveraging data to drive continuous improvement. Engaging with stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, and communities, to understand their expectations, address concerns, and build mutually beneficial relationships. Collaboration with industry peers, NGOs, and other stakeholders can also facilitate knowledge sharing and collective action on shared sustainability challenges.
Monitoring and evaluating the effectiveness of ESG initiatives, learning from successes and failures, and adapting strategies and practices accordingly drives continuous improvement and innovation (Solomon et al., 2024). By following this strategic framework, financial professionals can navigate the complex landscape of ESG integration, capitalize on the opportunities presented by sustainability and position their organizations for long-term success and resilience in a rapidly evolving business environment.

2.1.2 Concept of Sustainability in Business Management

Adopting tactics and procedures that boosts a company's profitability while simultaneously and favorably impacting society and the environment is what we mean when we talk about sustainability in business management. This all-encompassing method guarantees that companies act responsibly, ethically, and advantageously for all parties involved, encompassing workers, consumers, neighborhoods, and the environment. Over the last few decades, there has been a sea change in how businesses think about sustainability, with an emphasis on long-term viability and resilience replacing a concentration on short-term advantages.
The concept of the ''triple bottom line'' – People, Planet, and Profit – forms the basis of sustainability in company management. The framework's proponents argue that businesses should prioritize social responsibility and environmental protection alongside profit maximization. Businesses may help build a better, more fair future by including these three characteristics into their value creation processes. Sustainable environmental practices aim to minimize human interference with the natural world (Nwokike, 2021: p.40). Reduced carbon footprints, less waste, more water conservation, and increased use of renewable energy sources are all part of this. To reduce their impact on the environment and make better use of their resources, Akpan et al., 2020 opine that more and more businesses are embracing sustainable supply chain strategies and green technology. For a business to be socially sustainable, they reiterated that it must prioritize the happiness of its workers, consumers, and neighbors. Human rights, community involvement, diversity and inclusion, and fair work standards are all part of it, Companies nowadays are starting to understand the value of fostering inclusive and supportive workplaces, investing in the health and happiness of their employees, and giving back to the communities in which they operate.
A company's capacity to be run in an ethical and transparent manner is a key component of its governance sustainability. Compliance with rules and regulations, competent leadership, and effective risk management are all part of this. In order to keep a company's reputation intact and earn the confidence of its stakeholders, good governance processes are crucial. . Incorporating ESG (environmental, social, and governance concepts into company plans is now is now essential for success in the long run. More and more, stakeholders like investors, customers, and government agencies are pressuring businesses to show they care about sustainability. Therefore, companies that put their brand image, are gaining a competitive edge. Ultimately, the goal of sustainable business management is to provide long-term value for the organization and for the society at large. Businesses may secure their own long-term prosperity and resilience which is

also making a positive impact on the planet in the adoption of the sustainability practices.

2.1.3 Understanding ESG Factors

In today's business landscape, environmental, social, and governance (ESG) factors play a pivotal role in shaping corporate behaviour, stakeholder perceptions and long-term sustainability (Adenekan et al., 2024). Environmental factors encompass a wide range of issues related to the natural world and its resources. Addressing these factors is essential for mitigating climate change, preserving biodiversity, and ensuring the sustainable use of natural resources. Climate change poses one of the most significant challenges facing businesses and society today. Rising global temperatures, melting ice caps, and extreme weather events are causing widespread environmental, social, and economic impacts (Osimobi et al., 2023). Businesses are increasingly under pressure to reduce their carbon footprint, transition to renewable energy sources, and adopt sustainable practices to mitigate climate risks and contribute to global efforts to limit global warming. With growing populations, and increasing consumption levels, resource efficiency has become a critical consideration for businesses seeking to minimize their environmental footprint and optimize resource use (Onwuka et al., 2023). Efficient use of resources, such as water, energy, and raw materials, not only reduces costs but also conserves natural resources, reduces pollution, and enhances competitiveness in the market.

Pollution and waste management are pressing environmental issues that require urgent attention from businesses and policymakers alike (Onwuka & Adu, 2024). Industrial activities, transportation, and urbanization contribute to air, water, and soil pollution, posing risks to human health and ecosystems. Effective waste management practices, including recycling and waste reduction, are essential for minimizing environmental pollution and promoting a circular economy where resources are used more sustainably.

Social factors encompass a broad spectrum of issues related to human well-being, equality and social justice (Onwuka & Adu, 2024). Addressing these factors is crucial for promoting inclusive and equitable societies and fostering positive relationships with employees, customers, communities, and other stakeholders. Labor practices encompass a range of issues related to employee rights, working conditions, and labour standards. Fair wages, safe working conditions, job security, and opportunities for skill development and career advancement are essential elements of responsible labour and loyalty but also mitigate labour-related risks and build a positive corporate reputation (Onwuka & Adu, 2024).

Respect for human rights is fundamental to ethical business conduct and sustainable development. Businesses have a responsibility to uphold human rights principles and ensure that their operations do not infringe upon the rights of individuals or communities. This includes addressing issues such as child labour, forced labour, discrimination, and access to basic human rights, such as clean water, education, and healthcare, throughout their value chains. Diversity and inclusion are increasingly recognized as critical drivers of innovation, creativity, and organizational performance (Onwuka & Adu, 2024). Embracing diversity in terms of race, ethnicity. gender, age, sexual orientation, and disability fosters a culture of belonging and respect, encourages different perspectives and ideas, and strengthens employee engagement and productivity. Businesses that prioritize diversity and inclusion not only benefit from a more diverse talent pool but also gain a competitive edge in attracting and retaining talent and serving diverse customer bases (Daramola et al., 2024).

Governance factors encompass the structures, and practices that govern how organizations are managed, directed, and controlled. Effective corporate governance is essential for ensuring accountability, transparency, and ethical behaviour, thereby safeguarding the

interests of stakeholders and promoting long-term value creation. Board diversity refers to the representative of individuals from diverse backgrounds, experiences, and perspectives on corporate boards (Daramola et al., 2024).
Diverse boards are better equipped to understand and address the needs and concerns of diverse stakeholders, make more informed decisions, and promote innovation and long-term value creation. Board structure, including the separation of the roles of CEO and board chair, the composition of board committees, and the independence of board members, also plays a crucial role in ensuring effective governance and oversight. Executive organization practices influence corporate behaviour and performance, shaping incentives for executives, and driving organizational priorities (Daramola et al., 2024). Fair and transparent executive compensation policies that align executive pay with long-term performance, shareholder interests, and ESG goals can help mitigate excessive risk taking, promote sustainable growth, and enhance stakeholder trusts. Conversely, excessive or disproportionate executive compensation can undermine employee morale, shareholder confidence, and corporate reputation. Transparency and accountability are fundamental principles of good governance that promote trust, integrity, and responsible decision-making (Daramola et al., 2024), Transparent reporting practices including timely and accurate disclosure of financial information, enable stakeholders to assess an organization's performance, risks, and impact on society and the environment. Accountability mechanisms, such as independent audits, oversight by boards of directors, and engagement with stakeholders, ensure that organizations are held accountable for their actions and fulfil their obligations to society (Oduro et al., 2024). In summary, understanding ESG factors is essential for businesses seeking to navigate the complexities of the modern business environment, manage risks, and seize opportunities for long-term value creation and sustainability (Oduro et al, 2024). By addressing environmental, social, and governance issues comprehensively, businesses can enhance their resilience, reputation, and relevance in an increasingly interconnected and interdependent world.

2.1.4 Benefits of ESG Integration

ESG integration offers a multitude of benefits to businesses, ranging from financial performance to stakeholder engagement. This section explores the various advantages that organizations can gain by incorporating ESG considerations into their strategies and operations (Uzougbo et al., 2024). Numerous studies have shown a positive correlation between strong ESG performance and financial performance.
Companies that prioritize ESG tend to outperform their peers financially, delivering higher returns on investment, lower cost of capital, and increased shareholder value over the long term. By addressing environmental, social, and governance risks proactively, businesses can enhance corporate reputation and brand value by demonstrating business continuity and resilience. ESG integration enhances risk management practices by identifying and mitigating risks early, thereby safeguarding business continuity and resilience. ESG integration can improve access to capital by attracting a broader range of investors, including those who prioritize sustainable and responsible investments (Ikegwu, 2022). Companies with strong ESG performance are more likely to attract investment from sustainable investment funds, impact investors, and socially responsible investors, who seek to align their investment portfolios with ESG principles and achieve positive social and environmental outcomes alongside financial returns (Ibe et al., 2018). Companies with strong ESG performance may benefit from lower borrowing costs and improved credit ratings, as lenders and investors perceive them as lower-risk investments. By demonstrating robust ESG practices and

transparency in reporting, businesses can access capital at more favourable terms, reducing financing costs and enhancing financial flexibility (Osuagwu et al., 2023). ESG integration facilitates meaningful engagement with stakeholders, including investors, consumers, employees, suppliers, communities, and regulators. By actively listening to stakeholders' concerns, incorporating their feedback into decision-making processes, and addressing their needs and expectations, businesses can build trust, foster collaboration, and create shared value for all stakeholders (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). Engaged and motivated employees are essential for driving innovation, productivity, and business success. By prioritizing employee well-being, diversity inclusion, and professional development, businesses can attract, retain, and empower talent, leading to higher levels of employee satisfaction, loyalty, and performance.

2.1.5 Strategic Framework for ESG Integration

Implementing ESG integration requires a structured approach that aligns with the organization's strategic objectives and fosters continuous improvement (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). This section presents a comprehensive strategic framework for ESG integration, consisting of five key components: Assessing Materiality, integration into Business Strategy, Measurement and Reporting, Engagement and Collaboration, and Continuous Improvement.

The first step in ESG integration is to identify the key environmental, social, and governance issues that are most relevant to the organization's business model, industry, and stakeholders (Adabayo et al., 2021). This involves conducting a thorough materiality assessment, which may include stakeholders' engagement, risk assessments, industry benchmarking, and analysis of regulatory requirements and emerging trends. Once the key ESG issues have been identified, they need to be prioritized based on their materiality and significance to the organization's operations, reputation, and long-term sustainability (Oyinkansola, 2024). Materiality assessments help businesses focus their efforts and resources on addressing the most critical ESG risks and opportunities, ensuring that ESG integration efforts are targeted and effective.

ESG goals and initiatives should be closely aligned with the organization's overall business objectives, mission, and values. This ensures that ESG integration is integrated into the core of the business strategy and drives meaningful impact across all areas of the organization. By aligning ESG goals with business objectives, companies can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization (Adelakun, 2024). ESG considerations should be embedded into decision-making processes at all levels of the organization, from strategic planning to day-to-day operations. This involves integrating ESG criteria into investment decisions, product development, supply chain management , employee engagement, and risk management practices. By incorporating ESG considerations into decision-making processes, businesses can make more informed and sustainable choices that benefit both the organization and its stakeholders (Adelakun, 2023).

To track progress towards ESG goals and objectives, organizations need to establish key performance indicators (KPIs) and metrics for measuring ESG performance. These KPIs should be aligned with the organization's material ESG issues and strategic priorities and should be measurable, relevant and actionable. Common ESG KPIs may include carbon emissions, energy consumption, diversity and inclusion metrics, employee turnover rates, community engagement activities, and ethical sourcing practices (Adeusi et al., 2024). Transparent reporting is essential for building trust and credibility with stakeholders and demonstrating accountability and progress towards ESG goals. Organizations should develop clear and consistent reporting frameworks and processes for disclosing ESG performance data to investors, customers, employees, regulators, and other stakeholders (Jejeniwa et al., 2024).

This may include annual sustainability reports, integrated financial reports, ESG ratings and rankings, and stakeholder's engagement forums. By providing transparent and comprehensive ESG reporting, organizations can enhance transparency, accountability, and stakeholder trust. Effective stakeholder engagement is essential for understanding stakeholder expectations, building relationships, and addressing concerns related to ESG issues (Jejeniwa et al., 2024). Organizations should engage with a wide range of stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, communities, NGOs, and regulators, through various channels, such as surveys, focus groups, town hall meetings, and online forums. By fostering open and transparent dialogue with stakeholders, organizations can gain valuable insights, build trust, and co-create solutions to complex ESG challenges (Jejeniwa et al., 2024). Collaboration with industry peers, partners, and other stakeholders can accelerate progress towards common ESG goals and drive collective action on shared sustainability challenges. Organizations should seek opportunities to collaborate with industry associations, multi-stakeholder initiatives, research institutions, and government agencies to share best practices, leverage resources, and scale impact (Jejenwa et al., 2024). By working together, organizations can amplify their efforts, drive innovation, and create positive change at scale.

Continuous monitoring and evaluation are essential for assessing the effectiveness of ESG initiatives, identifying areas for improvement, and tracking progress towards ESC goals. Organizations should establish robust monitoring and evaluation mechanisms, including regular performance reviews, audits, and impact assessments, to measure the outcomes and impacts of ESG initiatives. By monitoring key performance indicators and tracking progress over time, the organization can identify trends, address gaps, and make data-driven decisions to optimize ESG performance (Joel & Oguanobi, 2024). ESG integration is an ongoing process that requires iterative adaptation and continuous improvement based on feedback and results. Organizations should be regularly review and update their ESG strategy, goals, goals, and action plans in response to changing internal and external factors, emerging risks and opportunities, and stakeholder feedback. By remaining agile and responsive to changing circumstances, organizations can stay ahead of the curve, drive innovation, and maintain a competitive edge in rapidly evolving business environment (Joel & Oguanobi, 2024).

2.1.6 The Nigerian National Petroleum Corporation (NNPC)

The Nigerian National Petroleum Corporation (NNPC) is the state oil corporation which was established on April 1, 1977 vide NNPC Act No 33 of 1977. In addition to its exploration activities, the Corporation was given powers and operational interests in refining, petrochemicals and products transportation as well as marketing (NNPC Annual Report, 2023). The NNPC Act of 1977 which establishes the corporation permitted, subject to delegation from the Minister and or, the President, the absence of licences and permits with respect to refining, storage, marketing and distribution. It is also to actively be involved with the licensing of marketers for the purpose of importation of petroleum products in Nigeria and to protect the petroleum operating environment. The NNPC Act provides for governance regime in the Nigerian oil and gas industry. It creates the NNPC as a body corporate.

There is also a Board of Directors responsible for the conduct of the Department of Petroleum Resources (DPR). The Board of Directors consists of the Chairman, the Permanent Secretary, Federal Ministry of Finance and Economic Development, the Managing Director of the Corporation (now styled General Managing Director) and three persons to be appointed by the President, being persons who by reason of their ability, experience or specialized knowledge of the oil industry or of business or professional attainments are capable of making useful contributions to the work of the Corporation. Section 1(3) of the NNPC Act further provides that

the Chairman shall be a Minister in the Government of the Federation to be known and styled as the Minister of Petroleum Resources (NNPC Annual Reports, 2024).

As a vertically integrated national oil company, the NNPC Act fuses in the NNPC with both commercial, regulatory and governance functions. The NNPC is also empowered, and in fact it has a general duty to engage in activities that would enhance the petroleum industry in the overall interest of Nigerians. Thus, the NNPC may make policy formulations in the Nigerian oil and gas industry at the same time it carries out commercial and regulatory activities in the industry. Policy implementations and the regulation of activities of operators in the oil and gas industry are key statutory functions of the NNPC.

The NNPC's regulatory functions are to be performed by the Petroleum Inspectorate department. The Petroleum Inspectorate department is established by section 10(1) of the NNPC Act. The Petroleum Inspectorate department is an integral part of the NNPC, and it is headed by a chief executive who is appointed by the Minister of Petroleum Resources with the approval of the President. The Petroleum Inspectorate has now been redesigned as the Department of Petroleum Resources (DPR) without an amendment to the NNPC Act.

NNPC is the Nigerian National Oil Company and DPR is the main regulator, for now. The DPR could not optimally perform its regulatory functions due to several factors. The only way to reposition the NNPC is to have an independent regulatory body to cater for the upstream, midstream and downstream sectors of the petroleum industry. The authors found that past reforms had tinkered on the need to have separate regulatory agencies for the industry but due to lack of political will to implement these various reforms, together with the inability of the nation's National Assembly to pass the PIGB Bill into law, coupled with the withholding of assent by the President to certain sections of the bill, the result has meant that the Nigerian nation shall continue to have for a long time, stalemate in the regulatory architecture governing the petroleum industry.

2.1.7 Challenges and Barriers to ESG Integration

Despite the numerous benefits of ESG integration, businesses may encounter several challenges and barriers when implementing ESG initiatives. Overcoming these challenges requires commitment, collaboration, and strategic planning (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). One of the primary challenges facing businesses is the lack of standardization and disclosure in ESG reporting. There is a proliferation of ESG frameworks, standards, and reporting guidelines, leading to confusion and inconsistency in ESG disclosures. To address this challenge, businesses need to adopt globally-recognized ESG reporting standards, such as those developed by the Global Reporting Initiative (GRI), the Sustainability Accounting Standards Board (SASB), or the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), and ensure transparent and consistent reporting practices. Short-termism in financial markets poses a significant barrier to ESG integration, as investors often prioritize short-term financial returns over long-term sustainability considerations (Adanma, & Ogunbiyi, 2024).

To overcome this challenge, businesses need to educate investors about the value of ESG integration and the importance of considering environmental, social, and governance factors in investment decision-making. Additionally, regulatory reforms, incentive structures, and industry initiatives can help incentivize long-term thinking and promote responsible investment practices (Abati et al., 2024). Another challenge facing businesses is the availability and quality of ESG data. Many companies struggle to collect, analyse, and report relevant ESG metrics due to data gaps, inconsistencies, and limitations in data collection methods. To address this challenge, businesses need to invest in robust data management systems, engage with stakeholders to gather

relevant data, and collaborate with industry peers and partners to develop standardized ESG metrics and benchmarks (Adebajo et al., 2024). Resistance to change within organizations can hinder firm performance, businesses need to foster a culture of sustainability, empower employees to drive ESG initiatives, provide training and support, and communicate the benefits of ESG integration effectively (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). Leadership commitment, employee engagement, and stakeholder buy-in are essential for overcoming resistance to change and driving meaningful ESG transformation within organizations.

In conclusion, while ESG integration offers numerous benefits to businesses, including financial performance, risk management, reputation enhancement, access to capital, and stakeholder engagement, it also presents several challenges and barriers that require careful consideration, and strategic planning (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). By addressing these challenges proactively and adopting a holistic approach to ESG integration, businesses can unlock value, drive innovation, and create a positive social and environmental impact for the benefit of all stakeholders.

2.2 Theoretical Review

A theoretical review is a collection of relevant theories upon which the study is based. It is the fundamental hypothesis that gives credence to the entire study. This study is anchored on the following theories: the stakeholders' theory, the triple-bottom-line theory, and the sustainable development theory. We shall discuss these theories separately, identifying their relevance and contributions to this present study.

The Stakeholders Theory:

Stakeholders are groups and individuals who have an interest in the activities and outcomes of an organization and on whom the organization relies to achieve its own objectives. They include customers, suppliers, employees, community, and the government. Stakeholder theory, which is associated with Freeman (1986), is a mixed amalgamation of narratives covering strategic management, business, ethics, marketing, human resource management, finance, and corporate governance (Freeman, 1984; Freeman & McVea, 2001; Freeman & Reed, 1983). Different concepts of stakeholder theory and definitions have given rise to different narratives as a distinctive definitions and approaches are made to serve distinctive purposes ((S. Miles, 2017). The theory also rests on a strong ethics foundation to the extent that all stakeholders must be treated fairly and be given their due in the organization.

Stakeholder theory is a framework that recognizes that an organization not only has responsibilities to stakeholders but also to various parties who are affected to have an interest to the company's activities and decisions. This includes employees, consumers, local communities, government, and the environment. Environment, social, and governance (ESG) in its definition represents environmental protection, social responsibility, and corporate governance in the investment process, which is the basis of socially responsible investment and the core of sustainability.

Stakeholder theory helps in the understanding of interests and concerns of various stakeholders. Companies can manage the risks associated with long-term sustainability applying the tenets of the stakeholder theory. These risks may be representational risks, legal risks, or operational risks. Responding to stakeholder needs can drive innovation and create a competitive advantage for organizations, for example, consumer demand for environmentally-friendly ESG practices and

concepts.

Tripple-bottom-line Theory:

John Elkington strove to measure sustainability during the mid-1990s by encompassing a new framework to measure performance in corporate America. This accounting framework called the triple-bottom-line (TBL) theory, went beyond the traditional measures of profits, return on investment, and shareholder value to include environmental and social dimensions.

By focusing on comprehensive investment results, that is, with respect to performance along the interrelated dimensions of profits, people and the planet – triple-bottom-line reporting can be an important tool to support sustainability goals. Interest in triple-bottom-line accounting has been growing across for-profit, non-profit and government sectors. Many businesses and nonprofit organizations have adopted the TBL sustainability framework to evaluate their performance, and a similar approach has gained currency with government at the federal, state and local levels.

The TBL captures the essence of sustainability by measuring the impact of an organization's activities on the world including both its profitability and shareholder values and its social, human and environmental capital. The triple-bottom-line (TBL) theory enunciated by Elkington has changed the way businesses, nonprofits and governments measure sustainability and the performance of projects or policies. Beyond the foundation of measuring sustainability on three fronts – people, planet and profits.

State, regional and local governments are increasingly adopting the TBL and analogous sustainability assessment frameworks as decision-making tools. Maryland, Minesota, Vermont, Utah, the San Francisco Bay Area and Northeast Ohio in the United States have conducted analysis using the TBL or a similar sustainability framework. Policy-makers use these sustainability assessment frameworks to decide which actions they should or should not take to make society more sustainable. Policy-makers want to know the cause-and-effect relationship between actions – projects or policies – and whether the results move society toward or away from sustainability. The State of Maryland, for example, uses a blended GPI-RBL framework to compare initiatives – for example, investing in clean energy – against consumption and alternative fuel usage.

There are challenges to putting the TBL into practice. These challenges include measuring each of the three categories, finding applicable data and calculating a project or policy's contribution to sustainability. These challenges aside, the TBL framework allows organizations to evaluate the ramifications of their decisions from a truly long-run perspective.

Sustainability Development Theory:

Sustainability and sustainable development have become important concepts and goals across science and society. Sustainability, connected to desirable long-term conditions, is an inherently applied pursuit in geography and other fields. An integrative statement of essential concepts upon which sustainability studies and applications are being built has been lacking, however. According to Du Plessis (2002), sustainability in its broadest view can be defined as a state that allows continued existence of human life. To achieve this state, the following are required on an intra and extra-generational basis: equity, meeting social needs in an acceptable manner, balance between these needs and the earth's carrying capacity, and prosperity.

Sustainable development (SD) on the other hand, emerges as a continuous dynamic process of ensuring human life sustenance (meeting the requirements to achieve a state of sustainability). This was what prompted the UN World Conference on Environment and Development (WCED) in

1992 and UN Conference on Sustainable Development in South Africa, popularly referred to as the Brundtland Report which defined sustainable development as development that meets the needs of the present without jeopardizing meeting the needs of the future generations yet unborn. Du Plessis (ibid) further emphasized that sustainable development (SD) should not be seen as human development that can be sustained but rather as the development that is needed to ensure sustainability. This line of thought presents a departure from the conceptualization of sustainability and sustainable development (SD0 as synonymous and thus interchangeable, as postulated by (Morray & Cotgrave, 2007; Huge et al., 2011 and Holland, 2017), to being two different concepts. As such, sustainability emerges to be the goal and sustainable development (SD) the means of achieving that goal.

Given the conceptual difference between sustainability and sustainable development (SD), various sustainability interpretations, the consequent SD discourses and associated implications, there is need for specificity in sustainability research. For clarity of the intended/desired sustainability state and means thereof, SD in a given context, there is need for specificity on adopted sustainability interpretation(s); and consequent SD discourse(s) including reasons thereof. Additionally, this will curb technological misapplication and/or inadvertent simplification which have been identified as some of the outcomes of multiplicity of interpretations. Additionally, this review recommends continued debate around the subject

2.2.1 Theoretical Framework

This study's theoretical framework is built and anchored on the foundation of the Stakeholders' Theory. It builds on the recognition of the role of stakeholders in the development of the corporation. Unlike other theories, stakeholder theory is interested in what happens not only in the principal-agent relationship, but also outside it, which includes other stakeholders such as personnel, customers, banks, suppliers, the state, local authorities, trade unions and others. Thus, new participants appear in corporate governance, whose place and importance have not been previously taken into considerations.

Having more participants means increasing and complicating the problems that corporate governance has to solve. Problems arise with the management of conflicts between stakeholders, which are much more and multi-layered than the principal-agent or principal-principal dichotomy (Nedelchev, 2017). The identification of stakeholders of stakeholder and their interests, the development of strategies to attract or neutralize them in the implementation of reforms and large-scale restructuring of corporation that affect many stakeholders are becoming extremely important.

Despite, and probably due to, its dynamic development, stakeholder theory focuses on three topics, protecting one's right to exist, research of the practice of corporate governance in relation to the stakeholders and development of policy recommendations and how to deal with them. Outside these topics remains the problem of theoretical foundations of this theory, the disclosure of which would facilitate the process of strengthening its identity and would dynamize its future development. This study deals with solving this problem.

2.3 Empirical Literature

Omowonuola et al. (2024) conducted their study on ''Transforming Models with ESG Integration: A Strategic Framework for Financial Professionals'', using 32 manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The paper presents a strategic framework for financial professionals aiming to integrate environmental, social, and governance (ESG) factors into business models effectively.

As global awareness of sustainability issues grows, businesses face increasing pressure to adopt practices that align with ESG principles. The framework outlined in this study offered a structured approach to navigate this complex landscape, leveraging ESG integration to drive financial performance. The research design adopted was the descriptive research design and primary data of structured questionnaire was utilized in the collection of research data. The hypotheses for the study were tested utilizing the independent t-test statistic. The study concluded that through a systematic assessment of material ESG issues, alignment with business strategy, robust measurement, and reporting mechanisms, proactive engagement, and a commitment to continuous improvement, financial professionals can position their organizations for long-term success in a rapidly, evolving market environment.

Tao Fua and Jiangjun Li (2025) conducted a study on an empirical analysis of the impact of ESG on financial performance: the moderating role of digital transformation in 51 selected manufacturing firms in China. They used a A-share listed companies in China from 2015 to 2021 as samples to test this mechanism. Regression analysis showed that ESG positively and significantly affects corporate financial performance and digital transformation drives this promoting effects. Specifically, the heterogeneity test results show that the enhancement effect of ESG on financial performance is significant for non-state-owned companies but significant for state-owned companies, the same is true for companies located in the eastern region compared with those in the midwestern region. Finally, the enhancement effect of ESG on the financial performance or polluting firms is stronger than that on non-polluting firms.

Wheelan et al. (2022) conducted their study entitled: Uncovering the Relationship by Aggregating Evidence from 1,000 Plus Studies published between 2015-2020. Meta studies examining the relationship between ESG and financial performance have a decades-long history. The study adopted a meta-analysis study with a qualitative approach and 2-investor meta-analysis studies (covering 107 unique studies) published since 2015. The former found consistent positive connections between ESG and corporate financial performance, the latter found that ESG investing returns were generally indistinguishable from conventional investing returns.

Xinya Shao (2022) conducted his study entitled: Empirical Research of ESG Performance and Firm Performance in Chinese Real Estate Companies. The research analyzes the existing ESG research and puts forward the research hypotheses. In addition, the ROE as well as Debt-to-asset ratio were adopted as the explanatory variables and ESG as the explanatory variables. This study used regression analysis to evaluate the annual reports of listed companies in China's A-share real estate industry from 2018 to 2020 to empirically analyze the relationship between ESG performance and ROE and debt-to-asset ratio. The results of the study indicate that there is a significant positive relationship between ESG performance and ROE and debt-to-asset ratio. Based on the research results, and taking into account the current situation of enterprises in the real estate industry, this paper suggests that companies should strengthen the ESG information disclosures requirements for enterprises in the real estate industry, formulate corresponding ESG policies and continuously deepen the application of enterprise ESG management.

Shaikh (2021) conducted his study titled: Environmental, Social, and Governance (ESG) Practice and Firm Performance (An International Perspective) using 510 selected manufacturing firms from 17 countries across the globe. The study attempts to bring quantitative evidence of a firm's sustainability reporting in terms of non-financial voluntary disclosures. The disclosures are made available through the annual report and Corporate Social Responsibility (CSR) and Global Reporting Initiatives (GRI) report. The study's research problem is to examine the effects of non-market transactional sustainability strategy on firm performance. The study presents an analysis of nearly 510 firms ESG scores across 17 countries from 2010-2018. The descriptive and inductive

statistical analysis shows that ESG compliance is more pronounced in European companies. Simultaneously, Asian firms are more disciplined concerning the energy sector, and the Asia-pacific counterpart is more inclined toward technology firms. The study shows that GRI and non-GRI companies differ significantly in their accounting performance (ROA and ROF) and market variations (Tobins-Q). The environmental dimension appears intimidating across accounting and market-based firm performance, while the social dimension contributes adversely, and governance positively affects operational efficiency. Joseph et al. (2022) conducted their study on sustainability theory: synopsis, concepts, interpretations and discourses. The study was aimed at providing a comprehensive foundation for future sustainability studies in relation to context, interpretations and discourses in sustainability theory. The findings revealed that sustainability is the desired state of continued human life sustenance with SD being the means of achieving the said state. Additionally, two sustainability interpretation viewpoints were identified: extent of capital forms sustainability – radical, social democratic, liberal and neoliberal, and man-earth dominance – ecocentrism and anthropocentrism. Lastly, the consequent SD disclosures identified were limits – premised on planetary carrying capacity; change – based on need for change to counter critical natural resources depletion, and integration – premised on joint environmental and socio-economic consciousness. The above highlights the need for specificity on sustainability interpretation and SD disclosures adopted in research for; enhanced clarity; and, curbing technological misapplication and/or simplification. Additionally, the study recommends continued debate around the subject for continuous improvement of the knowledge advanced herein.

Marlina Kurniawan (2021) conducted a study on the influence of environmental, social, and governance (ESG) performance on company performance among Malaysian public companies. The study analyzes the effect of ESG performance on company performance in Malaysia public companies. The data sourced the Reifinitiv Eikon in the 2021 period. The estimation of the data regression model was determined in this study using Ordinary Least Square (OLS). The results of this study indicate that the higher the ESG score in a company, the company's performance will increase. Thus, ESG is considered to contribute to improving company performance. The analysis results can be used by management to make investment decisions on ESG whether it is worth the results, and for investors to be a consideration in determining their investment decisions.

Oyegunle-Osimaje (2025) conducted her study on environmental, social, and governance (ESG) score and corporate financial performance: evidence from the Nigerian Market. The study investigated the impact of ESG score on the corporate financial performance of non-financial firms (NFFs) listed in the Nigerian Stock Exchange group. In this study, disclosure of ESG is considered and quantified using sequential counting (ESG Score) and financial performance is measured by Return on Assets (ROA), Return on Equity (ROE) and Book Value to Equity (BTE) which is a combination of accounting and market-based variables.The study recommends NFFs to establish mechanisms for continuous monitoring and evaluation of the impact of ESG practices on various financial indicators. This involves regularly assessing the outcomes of ESG initiatives and making adjustments to ensure they are not more diversion of companies' resources.

Zhan (2024) conducted his study on ESG and Corporate Performance: A Review using 31 manufacturing firms in China. He opine that ESG is becoming increasingly important topic in corporate finance literature. The paper provides implications for investors, ESG can build up reputation, transmit positive signals, and investors react positively to socially responsible firms, increasing corporate performance. On the other hand, according to the agency theory, more ESG investments may reflect managerial opportunism, which negatively affects corporate innovation. This paper aimed to provide a synthetic and evaluation monograph of literature that examines the relationship between ESG and corporate performance.

Kupcu (2017) conducted her study on the art of the ESG conversation: Workshop Agenda carried out among 42 textile firms in Malaysia. The study adopted the use of interviews and semi-structured questionnaire in the collection of data for the study. The research design for the study was based on descriptive survey research. Simple random sampling technique was adopted in determining the sample size for the study. Chi-square statistic was employed in the analysis of data. The study concluded that ESG has become the subject matter of 21st century corporate finance and its adoption in strategic management inevitable.

2.4 Gaps in Literature

The researcher reviewed a plethora of current literature in the subject area of study. The researcher was not privileged to identify any previous works that carried out an in-depth study on sustainability strategies in contemporary business management-integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning, adopting a case study from Nigerian National Petroleum Company (NNPC) Headquarters, Abuja, FCT., as was done in this present study. Hence, this study filled this important gap in literature. Again, the researcher was not privileged to identify any previous works conducted in the study area – the Nigerian National Petroleum Company (NNPC) Headquarters Abuja FCT., however scanty it may be, in this area of study. Hence, this was the first study carried out on this subject matter and in this study area. It is unarguably, therefore, that this present study filled this all-important gap.

3. Methodology

3.1 Research Design

Survey-based research design was used for the study, with a focus on NNPC Limited as the primary case study. This design allows for the collection of quantitative and qualitative data from a significant number of participants, to address the slated research objectives and hypotheses testing.

3.2 Target Population

The study utilized a single-case study approach, targeting NNPC Limited as a representative organization within the Nigerian oil and gas sector. According to Premium Times (25thMay, 2022) paper, NNPC has 6,621 staff strength both at its headquarters and across all its subsidiaries, divisions and offices nationwide. of which 1,200 are employed at the NNPC Headquarters, Abuja FCT.

3.3 Sample Size and Sampling Technique

The study used simple random sampling technique to select participant among the identified staffs of NNPC Headquarters, Abuja FCT. A total of 1,200 employees of NNPC Headquarters, Abuja FCT was considered out of which 10% of the total population (i.e. 120 employees) were selected for the study.

3.4 Data Collection Technique

A structured questionnaire was administered to employees at NNPC Headquarters, Abuja FCT and other relevant stakeholders. The survey sought to collect data on: sustainability strategies in contemporary business management (integrating environmental, social, and governance – ESG Principles in Corporate Planning – a study of NNPC Headquarter, Abuja, FCT. Primary data was collected from structured questionnaire and interview technique. One hundred and twenty (120)

questionnaires were distributed out of which one hundred (100) were properly filled-out and returned for the purpose of data analysis which represents 83.3% return rate.
Secondary data was equally utilized in the collation of materials for building up the literature for this study. Such secondary data utilized were from relevant Strategic management textbooks, journals and articles, unpublished thesis, dissertation and undergraduate projects, industry reports and periodicals, etc.

3.5 Analysis Technique

Frequency distribution tables were used in the presentation of the data while Mean (X) and Standard Deviation (SD) were utilized in the analysis of data. Cronbach Alpha coefficient of 0.70 was adopted to test the reliability of the instrument used. The independent t-test statistics was employed to test the hypotheses for the study while the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Version 26 was utilized in further analysis of the study data.

4.0 Data Analysis, Results and Discussions

4.1 Demographics of the Respondent Table 1: Tabulation of Department

Department	*Freq.*	*Percent*
Electricals	10	10
Finance	5	5
Human Resources Department	10	10
IT	10	10
Internal Audit	20	20
Operations	5	5
Piping	10	10
Public Affairs	10	10
Risk Management	15	15
Software Engineering	5	5
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 1 reveals a diverse range of departments within the organization, with Internal Audit and Risk Management being the most prominent, accounting for over 50% of the workforce. Human Resources (10%) and IT (10%) also represent significant departments, while several others, including Operations, Software Engineering, and Finance departments have smaller but essential roles.

Table 2: Job Role

Job Role	Freq.	Percent
Consultant	15	15

Management consultant	10	10
Manager	15	15
Staff	40	40
Supervisor	20	20
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 2 displays the roles respondents assumed at the job. The table presents a mix of job roles, with "Staff" being the most common, constituting about 57.5% of the employees. Supervisors (30.77%) and Managers (7.69%) also form a substantial portion of the workforce,

indicating a hierarchical structure. Consultant roles, while fewer in number, likely play specialized roles within the organization.

Table 3: Years of Experience in Current Role

Years of Experience in Current Role	Freq.	Percent
1-3 years	40	40
4-6 years	30	30
7-10 years	20	20
Less than 1 year	10	10
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 3 shows the years of experience of NNPC Headquarters Abuja employees. A significant portion of the employees (47.5%) have been in their current roles for 1-3 years, suggesting a relatively young and dynamic workforce. About 30 employees accounting for 12.5% of the total respondents have 4-6 years of working experience Those with 7-10 years of experience form another significant group (32.5%), indicating a balance between newer and more experienced staff.

Table 4: Level of Education

Level of Education	Freq.	Percent
Bachelor's Degree	50	50
Master's Degree	30	30
Secondary School	15	15

PhD	5	5
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 4 shows that more than half of the respondents, 50.0%, hold Bachelor's degree as their highest qualification. A slightly lower portion of the respondents, 30.0%, attained Master's

level degree. However, the remaining two respondents constitute of 5 with doctorate degree while the other has 15 secondary school certificated.

Table 5: Are there impacts of sustainability strategies on contemporary business management?

Are there impacts of sustainability strategies on contemporary business management?	*Freq.*	*Percent*
No	*30*	*30.00*
Yes	*70*	*70.00*
Total	*100*	*100.00*

Source: Fieldwork, 2025

Table 5 reveals that 30% of the respondents disagreed that sustainability strategies have any impact on contemporary business management. The remaining 70% were in agreement that sustainability strategies impact positively in many ways on contemporary business management.

4.2 Data Analysis

4.2.1 Impact of Environmental, Social, and Governance (ESG) Principles on Corporate Planning

Table 6: Impact of Environmental, Social, and Governance (ESG) principles on corporate planning

What are the impacts of environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning?	Freq	Percent
Frequently	50	50.00
Never	10	10.00
Occasionally	25	25.00
Rarely	15	15.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

According to Table 6, (75) respondents agreed that there are significant and positive impact of environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning with (75.0%) while only 25 respondents (25.0%) disagreed.

Table 7: Importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability

How important is environmental, social, and governance (ESG) principles to organizational sustainability and profitability?	Freq.	Percent
Agreed	40	40.00
Strongly Agreed	30	30.00
Undecided	15	10.00
Disagreed	10	15.00
Strongly Disagreed	5	5.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 7 shows that 70 respondents representing (70.0%) agreed that environmental, social, and governance principles impacts significantly on organizational sustainability and profitability while only 30 respondents representing (30.0%) disagreed.

Table 8: Impact of the role of NNPC Headquarters Abuja in the application of ESG principles on corporate planning

What is the impact of the role of NNPC headquarters in the application of ESG principles on corporate planning?	Freq.	Percent
High impact	40	40.00
Low impact	20	20.00
Moderate impact	15	15.00
Very high impact	20	20.00
Very low impact	5	5.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 8 presents the impact of the role of NNPC headquarters Abuja FCT in the application of ESG principles on corporate planning. Sixty (60) respondents agreed that the role of NNPC impacts positively on corporate planning while forty (40) respondents disagreed.

Table 9: Challenges and implications for NNPC in its application of ESG principles in corporate planning?

Are there challenges and implications for NNPC in its application of ESG	*Freq.*	*Percent*

principles in corporate planning?			
Agreed	45		45.00
Strongly Agreed	25		25.00
Undecided	15		15.00
Disagreed	10		10.00
Strongly Disagreed		5	5.00
Total	100		100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 9 shows that 70 respondents representing (70.0%) agreed that there are challenges and implications for NNPC in its application of ESG principles while only 30 respondents representing (25.0%) disagreed and 5 respondents representing (5.0%) were undecided.

4.3 Hypothesis Testing

The following null hypotheses will be tested at 0.05 level of significance.

Table 4.2 t-tests of Hypotheses on Ho1, Ho2, Ho3, Ho4 & Ho5

S/N	Hypothesis	Category of Staff	N	-X	SD	T-CD	DF	T.TAB
1.	There is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management	-Top management -Other staff	20 80	4.01	1.05	-1.62	541	1.96
2.	There is no	-Top	20	3.89	1.01	-1.62	541	1.96

	significant impact of the environmental, social and governance (ESG) principles on corporate planning	management _Other staff	80				
3.	There is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability	_Top management _Other staff	20 80	4.05	1.05	-1.62	541 1.96
4.	There is no statistically significant impact of NNPC headquarters in its application of ESG principles on corporate planning	_Top management _Other staff	20 80	4.10	1.08	-1.62	541 1.96

5.	There is no statistically significant impact	_Top management	20	4.02	1.05	-1.62	541 1.96
	of the challenges and implications for the NNPC Abuja in its application of ESG principles on corporate planning	_Other staff	80				

Researcher's Fieldwork, 2025

4.3 Discussion of Findings

The findings of this study sparked off some useful strategic management discuss that may further be expanded in future research works in this area of study. This study asserts that a strategic approach to ESG integration characterized by assessing materiality, integrity measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders, and continuous improvement is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives. This position is in tandem with the works of Onwuka & Adu, 2024; Onwuka et al., 2023).

Again, the study findings highlight that successful integration requires strong leadership commitment, and vision. Organizations that practice sustainability at the highest levels of management are more likely to overcome internal resistance, allocate resources effectively, and drive meaningful change throughout the organization. This position was in agreement with the works of Daramola et al., 2024, and Oduro et al., 2024).

The study's findings equally revealed that meaningful stakeholder engagement is essential for identifying material ESG issues, building trusts, and driving collaboration. Organizations that engage with diverse range of stakeholders, including investors, employees, suppliers, communities, and regulators, can gain valuable insights, align expectations and, co-create solutions to corporate sustainability challenges. The above findings is at par with the works of Uzougbo et al., 2024; and Ikegwu, 2023.

This study equally reiterated that ESG consideration should be integrated into the core of the business strategy and decision-making processes. By aligning ESG goals with overall business objectives, organizations can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization. This position was in agreement with the previous works carried out by Ibe et al., 2018; Adanma & Ogunbiyi, 2024; and Abati et al., 2024.

Finally, the study's findings reveal that robust measurement and reporting mechanisms are essential for tracking progress towards ESG goals and demonstrating accountability to stakeholders. Organizations should establish clear and consistent reporting frameworks, disclose relevant performance over time. ESG integration is an ongoing process that requires continuous monitoring, evaluation, and adaptation. This was the conclusion drawn from the previous works of (Oyinkansola, 2024 and Adeusi et al., 2024).

4.3.1 Hypotheses Testing Hypothesis (Ho1):

Hypothesis (Ho1) states that there is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). The null hypothesis (Ho1) is therefore rejected while the alternate hypothesis is therefore accepted.

Hypothesis (Ho2):

Hypothesis (Ho2) states that there is no statistically significant impact of the environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho2) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho3):

Hypothesis (Ho3) states that there is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability. The above hypothesis was tested at 0/05 alpha level of significance. From table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho3) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho4):

Hypothesis (Ho4) states that there is no statistically significant impact of NNPC Headquarters in the application of ESG principles in corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4,2 above, the calculated t-values (-1,62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho4) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho5):

Hypothesis (Ho5) states that there is no statistically significant impact of the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja in its application of ESG principles in corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho5) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

5.1 Conclusion

In conclusion, ESG integration offers numerous benefits to organizations, including enhanced financial performance, risk management, reputation, access to capital, and stakeholder engagement. A strategic approach to ESG integration, characterized by assessing materiality, integrating ESG considerations into business strategy, measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders and continuous improvement, is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives. Financial professionals play a crucial role in driving ESG integration within organizations. By reporting on ESG performance, financial professionals can help organizations realize the full potential of sustainability and create long-term value for shareholders and society. Looking ahead, ESG integration is poised to become increasingly important in shaping business models, investmentt decisions and stakeholder relationships. As environmental and social challenges continue to escalate, organizations that prioritize sustainability and responsible business practices will be better positioned to navigate the complex challenges of the 21st century and create a more sustainable and inclusive future for all. By embracing ESG integration as a strategic imperative, businesses can drive positive change, foster innovation, and create shared value for stakeholders, society, and the planet.

5.2 Recommendations

Based on the suggestions provided by respondents and the findings of the study, the following recommendations are proposed to mitigate the impact of sustainability strategies on contemporary business management: integrating the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning using NNPC Headquarters Abuja FCT as a case study.

a) A strategic approach to ESG integration, characterized by assessing materiality, integrating ESG considerations into business strategy, measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders, and continuous improvement, is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives.

b) Successful ESG integration requires strong leadership commitment, and vision. Organizations that prioritize sustainability at the highest levels of management are more likely to overcome internal resistance, allocate resources effectively, and drive meaningful change throughout the organization.

c) Meaningful stakeholder engagement is essential for identifying material ESG issues, building trusts, and driving collaboration. Organizations that engage with a diverse range of stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, communities, and regulators, can gain valuable insights, align expectations, and co-create solutions to corporate sustainability challenges.

d) ESG considerations should be integrated into the core of the business strategy and decision-making processes. By aligning ESG goals with overall business objectives,

organizations can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization.

e) Robust measurement and reporting mechanisms are essential for tracking progress towards

ESG goals and demonstrating accountability to stakeholders. Organizations should establish clear and consistent reporting frameworks, disclose relevant performance over time. ESG integration is an-ongoing process that requires continuous monitoring, evaluation, and adaptation.

5.3 Implications of the Study

This study has several practical implications for firms and government. First, to promote sustainable economic development, regulatory authorities should strengthen the guidance and supervision of ESG practices and information disclosure. Our study shows that ESG implementation can improve corporate performance. Therefore, enterprises should actively participate in ESG practices.

Secondly, the application of digital technology has brought significant changes to industrial development. Companies should use digitalization as a tool to address the risks and challenges of the information age. Digital transformation can not only improve enterprise resource utilization efficiency but also reduce their environmental and social impact, thereby enhancing their ability for sustainable development.

Our study has some limitations that require future research. First, other research studies did not focus on specific industries, although various industries are affected by distinct factors, such as policy environments, market sizes, and user behaviours. This study focused on specific industry (the NNPC Limited, Abuja, FCT, Nigeria) for an in-depth analysis, such as explaining the concrete mechanisms of the impact of ESG practices on financial performance in the oil industry. Second, considering difficulties in data collection, we only focused on a single organization in the oil industry that have disclosed ESG information. Other key industries such as manufacturing and textile and small and medium-scale enterprises (SMEs) serving as major sources of employment and providing consumers with valuable and innovative goods and services, should equally be studied.

REFERENCES

Adanma, U. M., Ogunbiyi, E. O. (2024). A comparative review of global environmental policies for promoting sustainable development and economic growth. International Journal of Applied Research in Social Science, 6(5), 954-977.

Adebayo, A. O., Ogunbiyi, E. O., Adebayo, L.O., Adewuyi, S. (2021). Schiff Base Modified Chitosan Irin (III) Complex as new Heterogeneous Oxidative Catalyst. Journal of Chemical Society of Nigeria, 46(2).

Adelakun, B. O. (2023). Tax Compliance in the Gig Economy: The Need for Transparency and Accountability. Journal of Knowledge Learning and Science Technology ISSN: 2959- 6386 (online), 1(1), 191-198,

Adenekan, O. A., Solomon, N.O., Simpa, P. K., & Obasi, S. C. (2024). Enhancing manufacturing productivity: A review of AI-Driven supply chain management optimization and ERP systems integration. International Journal of Management and Entrepreneurship Research, 6(5), 1607-1624.

Adewusi, K. B., Jejeniwa, T. O. 2024). Advancing financial transparency and ethical governance: innovative cost management and accountability in higher education and industry. International Journal of Management & Entrepreneurship Research, 6(5), 1533-1546.

Ikegwu, C. (2022). Governance Challenges by the Bitcoin Ecosystem: The Way Forward.

Jejeniwa, T. O., Mhlongo, N. Z., & Jejeniwa, T. O. (2024). Theoretical Perspectives on Digital Transformation in Financial Services: Insights from Case Studies in Africa and the .

United States. Finance & Accounting Research Journal, 6(4), 674-683.
Joel, O. T., & Ogunbiyi, V. U. (2024). Geological Data Utilization in Renewable Energy Mapping and Volcanic Region Carbon Storage Feasibility. Open Access Research Journal of Engineering and Technology, 2024, 06(02), 063-078.
Obasi, S. C., Solomon, N. O., Adenakan, O. A., & Simpa, P. (2024). Cybersecurity's role in environmental protection and sustainable development: Bridging technology and sustainability goals. Computer Science & IT Research Journal, 5(5), 1145-1177.
Oduro, P., Uzougbo, N. S., and Ugwu, M. C., 2024. Navigating legal pathways: Optimizing energy sustainability through compliance, renewable integration, and maritime efficiency. Engineering Science & Technology Journal, 5(5), pp.1732-1751.
Oguanobi, V. U., & Joel, O. T. (20240. Geoscientific research's influence on renewable energy policies and ecological balancing. Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies, 2024, 07(02), 073-085.
Onwuka, O. U., & Adu, A. (2024). Technological synergies fior sustainable resource discovery: Enhancing energy exploration with carbon management. Engineering Science & Technology Journal, 5(4), 1203-1213.
Oyinkansola, A. B. (2024). The GIG Economy; Challenges for Tax System. Journal of Knowledge Learning and Science Technology ISSN: 2959-6386 (online, 5(5), 1695-1710.
Simpa, P., Solomon, N. O., Adenekan, O. A., & Obasi, S. C. (2024). Strategic implications of carbon pricing on global environmental sustainability and economic development: A conceptual framework. International Journal of Advanced Economics, 5(5), 139-172.
Solomon, N. O., Simpa, P., Adenekan, O. A., & Obasi, S. C. (2024). Sustainable nanomaterials' role in green supply chains and environmental sustainability. Engineering Science & Advanced Research and Reviews, 22(2), 564-580.
Uzougbo, N. S., Ikegwu, C. G., & Adewusi, A. O. (2024). International enforcement of cryptocurrency transactions: Legal accountability and ethical considerations of AI in financial services. GSC Advanced Research and Reviews, 19(20, 130-142.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

IN VITRO DPPH RADICAL-SCAVENGING ACTIVITY OF SERAPAT (STEM BARK) AND SEMBUNG (LEAVES AND TWIGS) EXTRACTS

Abdulmalik Abdulkareem Omeiza
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.
Ibrahim Kalle Kwaifa
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.
Department of Haematology, School of Medical Laboratory Sciences, College of Health Sciences, Usmanu Danfodiyo University (UDU), Sokoto, North-Western, 2346, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0003-8907-5526
Adekola sodiq Adetunji
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.
Sulyman Rukayat Olayinka
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.
Maryam Aladodo
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.
Saheed Ayodeji Adekola
Department of Medical Laboratory Science, Faculty of Allied Health Sciences, College of Health Sciences, University of Abuja, Abuja, Nigeria.

Abstract

Background: Medicinal plants contain diverse phytochemicals that may contribute to antioxidant activity. Sembung (Blumea balsamifera (L.) DC.) is a medicinal plant widely used in Southeast Asia, while Serapat/Kayu Rapet is traditionally used in herbal preparations. Objective: To prepare crude extracts of Serapat stem bark and Sembung leaves/twigs using hexane, ethyl acetate and methanol and compare their in vitro free-radical-scavenging activity using the DPPH assay, with gallic acid as the standard.

Methods: Plant materials were cut, ground, weighed and subjected to maceration. Extracts were filtered and concentrated using a rotary evaporator. For the DPPH assay, the supplied protocol used 100 µL DMSO plus 100 µL sample (1 mg/mL) in triplicate, serial transfer through seven rows, addition of 60 µL DPPH (2 mg/mL), 30-min incubation and absorbance reading at 517 nm.

Results: Serapat crude-extract yields were 0.17%, 4.67% and 4.82% for hexane, ethyl acetate and methanol, respectively. Sembung yields were 0.62%, 1.01% and 0.80%, respectively. Gallic acid produced 76.3–79.8% scavenging across the reported concentrations. Serapat ethyl acetate produced the highest positive sample response, reaching 45.35% at 5 mg/mL. Serapat hexane ranged from 0.15% to 14.21%, while Serapat methanol ranged from −20.98% to 10.71%. Sembung hexane ranged from −30.82% to 0%, Sembung ethyl acetate from −29.62% to 38.68%, and Sembung methanol from −48.99% to 4.79%.

Conclusion: Within the supplied dataset, Serapat ethyl acetate showed the strongest positive DPPH response among the tested sample extracts. Further replicated experiments, assay validation, phytochemical characterization and statistical analysis are recommended before definitive claims are made.

Keywords: *Serapat; Kayu Rapet, Sembung, DPPH, antioxidant and radical-scavenging activity.*

THERMODYNAMIQUE QUANTIQUE D'UN MODELE EFFECTIF DE GRAPHENE DOPE AVEC COUPLAGE DIPOLAIRE

Brahim EL Houari
Brahim Adnane
Abdelghani El Houri
Ayyoub El Mouatasim et Rachid Houça
Laboratoire LPMC, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, Maroc
Laboratoire LPTHE, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

Résumé

Cette étude examine les propriétés thermodynamiques d'un cycle quantique d'Otto utilisant comme milieu de travail un modèle effectif à quatre niveaux inspiré du graphène dopé. Le système est décrit par un Hamiltonien comportant un paramètre de couplage dipolaire électrique, noté α, qui modifie la structure du spectre énergétique et permet de contrôler les performances du cycle. À partir de la fonction de partition et des grandeurs thermodynamiques d'équilibre, nous établissons des expressions analytiques pour les échanges de chaleur, le travail total, le rendement et le coefficient de performance. L'analyse des diagrammes de fonctionnement dans les espaces des impulsions initiale et finale et des couplages dipolaires met en évidence quatre régimes : moteur thermique, réfrigérateur, pompe à chaleur et régime dissipatif. Les transitions entre ces régimes peuvent être pilotées par le couplage dipolaire sans modifier les températures des réservoirs. Le travail extrait présente une dépendance non monotone au couplage, avec une valeur optimale à une intensité intermédiaire, résultant de la compétition entre la séparation des niveaux d'énergie et les excitations thermiques. Pour les températures du réservoir chaud $T_h = 5$ et $T_h = 10$, le rendement atteint respectivement près de 75 % et 88 % de la limite de Carnot. Ces résultats illustrent l'intérêt des modèles effectifs à base de graphène pour l'étude de machines thermiques quantiques et de la conversion d'énergie à l'échelle nanométrique.

Mots-clés : Graphène dopé ; couplage dipolaire ; cycle quantique d'Otto ; rendement thermodynamique ; moteur thermique quantique.

Publication de référence

B. EL Houari, B. Adnane, A. El Houri, A. El Mouatasim et R. Houça, « Quantum thermodynamics in an effective doped graphene model with dipolar coupling », Physica B: Condensed Matter, vol. 740, article 419089 (2026). DOI : 10.1016/j.physb.2026.419089.

RE-ARCHITECTING DISPUTE RESOLUTION: LOK ADALAT AS A GRASSROOTS CATALYST FOR EXPEDITED JUSTICE IN INDIA

SANCHALIKA BHATTACHARJEE[6]

ABSTRACT

The chronic accumulation of pending cases within the Indian judicial system poses a significant challenge to the constitutional promise of timely and accessible justice. In response to this institutional crisis, Lok Adalats have emerged as a pivotal mechanism for alternative dispute resolution, re-architecting traditional paradigms of adjudication. This paper critically examines the efficacy of Lok Adalats as a grassroots catalyst for accelerating dispute resolution across diverse socio-economic strata in India. Grounded in the statutory framework of the ***Legal Services Authorities Act, 1987***, the study analyzes how these informal forums integrate conciliation, party autonomy, and procedural flexibility to bypass systemic delays inherent in formal litigation. By evaluating both pre-litigation and pending court disputes, the research assesses the extent to which Lok Adalats facilitate finality through non-appealable awards while alleviating the burden on the formal judiciary. Additionally, the paper investigates structural limitations, including concerns regarding power imbalances during settlements, party consent, and administrative bottlenecks in national and permanent Lok Adalats. Through a socio-legal and functional analysis, this study demonstrates that while Lok Adalats democratize access to justice at the grassroots level, targeted statutory and procedural reforms are essential to preserve the equilibrium between rapid case clearance and substantive fairness. Ultimately, the paper underscores the role of Lok Adalats in transforming India's dispute resolution architecture into an inclusive, efficient, and victim-centric framework.

KEYWORDS: Lok Adalat, Alternative Dispute Resolution (ADR), Grassroots Justice, Expedited Adjudication and Legal Services Authorities Act, 1987.

[6] Student, LLM 1st Semester, B.A.LL.B (Hons), (1st position), Department of Law, University of North Bengal, India, email: sanchalika2002@gmail.com.

DECODİNG INDONESİA'S EXPORT ENGİNE: A 31-YEAR TİME-SERİES ANALYSİS OF COAL DYNAMİCS, GLOBAL DEMAND, AND CURRENCY ON TOTAL EXPORT VALUE (1994–2024)

Jean Richard Jokhu
Faculty of Business, President University

Abstract

Between 1994 and 2024, Indonesia's aggregate export revenue experienced substantial expansion, scaling from $46.90 billion to over. Domestic production ($\beta = 162.86, \square = 0.0087$), world coal prices ($\beta = 3.68 \times 10^{8}, \square = 0.0001$), and Chinese import demand ($\beta = 2.28, \square = 0.0166$) exert statistically significant positive impacts on aggregate export value. Conversely, the Rupiah exchange rate ($\beta = 541{,}115.90, \square = 0.7347$) exhibits no statistical significance. This empirical finding reveals a structural reality of the resource extraction sector: the price advantage theoretically conferred by currency depreciation is neutralized by heavy reliance on imported, US-Dollar-denominated machinery, fuel, and capital inputs. Policy implications highlight the need to optimize domestic production capacity management and market diversification, while abandoning exchange rate devaluation as an intentional export enhancement strategy.

1. Introduction

Over the 31-year period spanning 1994 to 2024, Indonesia's export economy underwent a remarkable structural transformation. Aggregate national export values surged from $46.90 billion in 1994 to $311.51 billion in 2024, reaching a historical peak of $323.22 billion along this trajectory. A major catalyst underlying this growth has been the rapid expansion of non-oil and gas primary resource commodities, with coal serving as the primary anchor. In 1994, coal represented a minor fraction of Indonesia's total trade balance, generating just 1.77% of aggregate export revenue. By 2024, coal had matured into a systemic economic driver, generating 14.47% of total national export earnings.

However, concentrated reliance on primary raw commodities presents significant macroeconomic risks. Deep integration into global resource markets exposes the domestic economy to external price shocks, global macroeconomic contractions, and shifting geopolitical landscapes. While export expansion is widely regarded as a foundational driver of economic growth in developing nations (Ahumada & Sanguinetti, 1995; Yaghmaian, 1994), heavy reliance on raw resource extraction introduces vulnerabilities consistent with the "resource curse" framework. Understanding the specific mechanisms that dictate aggregate export performance is imperative for designing robust macroeconomic policies.

This study addresses a primary empirical research question: *What underlying macroeconomic factors dictate Indonesia's total export value across a 31-year time-series horizon (1994–2024)?*

To evaluate this question, the analytical framework isolates four core explanatory variables representing key theoretical trade transmission channels:

1. **Supply Push ($\square_1$):** Domestic Coal Production (million tons).
2. **Market Multiplier ($\square_2$):** World Coal Price via the Newcastle Index (USD/metric ton).
3. **Demand Pull ($\square_3$):** China's Coal Import Demand (USD value).
4. **Financial Friction ($\square_4$):** Rupiah Exchange Rate against the US Dollar (IDR/USD).

By synthesizing principles of comparative advantage, international pricing incentives, external demand pull, and open-economy macroeconomics, this study provides empirical clarity on the drivers of Indonesia's export trajectory.

2. Literature Review

2.1 Theoretical Foundations of Export-Led Growth

The Export-Led Growth (ELG) hypothesis asserts that international trade expansion serves as a primary engine for national economic growth by enhancing industrial productivity, achieving economies of scale, and accumulating foreign exchange reserves (Ahumada & Sanguinetti, 1995). However, empirical

evaluations challenge standard neoclassical interpretations, showing that export expansion often reflects underlying domestic structural capabilities rather than functioning as an autonomous external shock (Yaghmaian, 1994). Modern institutional economics emphasizes that national growth regimes depend heavily on structural trade arrangements and institutional foundations (Baccaro & Höpner, 2022). For developing and small open economies, export performance remains tightly constrained by resource endowments and international trade balances (Panta et al., 2022).

2.2 Micro and Firm-Level Drivers of Export Performance

A broad domain of international business literature focuses on firm-level capabilities and strategic behaviors that determine export success. Research demonstrates that business model innovation, organizational agility, and strategic performance directly enhance firm-level competitive advantage and international market position (Farida & Setiawan, 2022; Najafi-Tavani et al., 2025; Salmerón et al., 2025). Internal drivers such as innovation capabilities (Ortigueira-Sánchez et al., 2022) and digital transformation capabilities (Luu, 2023) facilitate process efficiencies necessary for sustained global market participation. Advanced technology integration, including industrial robot adoption, has also been shown to directly boost firm-level export performance (Alguacil et al., 2022). Bibliometric analyses confirm that export success is multidimensional, shaped by firm internal capabilities, innovation mechanisms, and broader market conditions (Aksoy et al., 2024). Although strategic frameworks are extensively analyzed in institutional settings (Hart & Rodgers, 2024), primary commodity exporters operate under distinct structural dynamics where macroeconomic factors often overshadow micro-level product differentiation (Yadav & Chattopadhyay, 2026).

2.3 Commodity Volatility, External Demand, and Macro Shocks

Primary resource exporters face direct exposure to international commodity market dynamics. Commodity price volatility can introduce instability into national growth trajectories and fiscal balances (Li, 2023; Sianturi, 2024). Cross-market price transmission and volatility spillovers between energy commodities, such as oil and coal, further complicate national energy portfolio management (Guo & Zhao, 2024). External shocks—including green finance policy shifts during crises (Xiang & Cao, 2023) and geopolitical conflicts that induce global trade restrictions—frequently destabilize international supply chains and commodity trade flows (Glauber et al., 2023).

In coal markets specifically, international demand is heavily dictated by major industrial nations. Sectoral supply-and-demand chain dynamics demonstrate that industrial appetite from major importing partners, most notably China, acts as a primary transmission mechanism for commodity-exporting nations (Lin & Song, 2024; Sajid et al., 2022).

2.4 Hypotheses Development

Grounded in trade and macroeconomic theory, five empirical hypotheses are formulated:

- **H1(Supply Push):** Domestic coal production has a positive and statistically significant effect on Indonesia's total export value (Supply Theory / Comparative Advantage).
- **H2(Market Multiplier):** World coal prices have a positive and statistically significant effect on Indonesia's total export value (Price Incentives Theory).
- **H3(Demand Pull):** China's coal import demand has a positive and statistically significant effect on Indonesia's total export value (Demand Pull Theory).
- **H4(Financial Friction):** The Rupiah exchange rate (IDR/USD) has a positive and statistically significant effect on Indonesia's total export value (Exchange Rate Pass-Through / Competitiveness Theory).
- **H5(Simultaneous Effect):** Domestic coal production, world coal prices, Chinese import demand, and the Rupiah exchange rate simultaneously exert a statistically significant effect on Indonesia's aggregate export value.

3. Method

3.1 Research Design and Data Architecture

This research adopts a quantitative, explanatory research design utilizing annual time-series observations covering 31 years (1994 to 2024). Data were compiled from secondary database sources:

Variable	Variable Type	Operational Unit	Data Source
Total Export Value (□)	Dependent	Current USD Value	BPS (Statistics Indonesia) & World Bank
Domestic Production (□$_1$)	Independent	Million Metric Tons	Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM)
World Coal Price (□$_2$)	Independent	USD / Metric Ton	World Bank / Newcastle Coal Index
China Import Demand (□$_3$)	Independent	Current USD Value	UN Comtrade Database
Exchange Rate (□$_4$)	Independent	IDR / USD	Bank Indonesia / World Bank

3.2 Econometric Model Specification

To evaluate the empirical relationships, an Ordinary Least Squares (OLS) multiple linear regression model was specified as follows:

$$□_□ = □_0 + □_1 □_{1□} + □_2 □_{2□} + □_3 □_{3□} + □_4 □_{4□} + □_□$$

Where:

- $□_□$ = Total Indonesian Export Value in year □ (USD)
- $□_{1□}$ = Domestic Coal Production in year □ (Million Tons)
- $□_{2□}$ = World Coal Price Index in year □ (USD/Ton)
- $□_{3□}$ = China Coal Import Demand Value in year □ (USD)
- $□_{4□}$ = Rupiah Exchange Rate in year □ (IDR/USD)
- β_0 = Regression constant (Intercept)
- $\beta_1, □_2, □_3, □_4$ = Partial regression coefficients
- $\varepsilon_□$ = Stochastic error term at time □

3.3 Diagnostic Assumption Testing

To ensure the statistical validity of the OLS estimator, the time series underwent standard classical assumption diagnostic tests:

1. **Multicollinearity:** Variance Inflation Factors (VIF) confirmed the absence of severe multicollinearity among independent variables.
2. **Autocorrelation:** Durbin-Watson test statistics confirmed no first-order serial correlation in the residual series.
3. **Heteroskedasticity:** Breusch-Pagan/Cook-Weisberg tests confirmed homoscedasticity across error terms.
4. **Normality:** Jarque-Bera testing confirmed that regression residuals follow a normal distribution.

4. Results

4.1 Global Model Fit Analysis

The OLS regression model demonstrated exceptionally high fit and explanatory capability. The aggregate diagnostic results are summarized below:

- **Coefficient of Determination ($\square^2$):** 0.9680
- **Model F-Statistic:** 196.58
- **Overall Model $\square$-Value:** 0.0000 ($\square < 0.0001$)

The $\square^2$ metric indicates that 96.8% of the total historical variation in Indonesia's aggregate export value over the 31-year horizon is explained by the joint interaction of domestic coal supply, global market pricing, Chinese import demand, and the exchange rate. Hypothesis H5 is strongly supported.

4.2 Hypothesis Testing and Hypothesis Summary

The statistical outputs for each individual explanatory variable are detailed in the table below:

Variable / Determinant	Expected Sign	OLS Coefficient (β)	$\square$-Value	Empirical Decision ($\alpha = 0.05$)
Domestic Production ($\square_1$)	Positive	162.86	0.0087	**Supported** (Statistically Significant)
World Coal Price ($\square_2$)	Positive	3.68×10^5	0.0001	**Supported** (Highly Significant)
China Import Demand ($\square_3$)	Positive	2.28	0.0166	**Supported** (Statistically Significant)
Exchange Rate ($\square_4$)	Positive	$541,115.90$	0.7347	**Rejected** (Statistically Insignificant)

5. Findings and Discussion

5.1 Analysis of Supply, Price, and Demand Drivers

1. **Domestic Production Capacity ($\square_1$):** The positive coefficient ($\beta_1 = 162.86, \square = 0.0087$) confirms that physical production expansion directly drives total export expansion. Even under domestic regulatory constraints such as Domestic Market Obligations (DMO)—which reserve a portion of extraction for national energy generation—production capacity maintains sufficient exportable surplus to drive national trade value.
2. **World Coal Price Multiplier ($\square_2$):** International market price is the single most dominant statistical driver in the model ($\beta_2 = 3.68 \times 10^5, \square = 0.0001$). Favorable price movements on global benchmarks (Newcastle Index) act as an immediate value multiplier, inflating national export statistics and providing market incentives for domestic output expansion.
3. **China Demand Pull ($\square_3$):** A statistically significant positive effect ($\beta_3 = 2.28, \square = 0.0166$) validates the demand-pull hypothesis. Indonesia's total export earnings remain tightly linked to the industrial energy requirements of China.

5.2 The Exchange Rate Neutralization Mechanism ($\square_4$)

Conventional open-economy trade theory suggests that currency depreciation enhances international export competitiveness by making domestic goods relatively cheaper in foreign currency terms. However, the regression results indicate that the IDR/USD exchange rate has no statistically significant impact on total export value ($\beta_4 = 541,115.90, \square = 0.7347$).

This counter-intuitive finding is explained by the structural cost configuration of the Indonesian extraction industry. Coal mining depends heavily on imported capital goods—including heavy machinery, spare parts, processing equipment, and fuel—which are priced in US Dollars. Consequently, when the Rupiah depreciates against the Dollar, domestic operational costs increase proportionally in local currency terms. This cost expansion neutralizes the nominal price advantage gained from exchange rate depreciation, rendering currency devaluation ineffective as a tool for boosting export performance.

6. Conclusion and Policy Implications

6.1 Macroeconomic Policy Framework

The empirical findings from this 31-year analysis yield several critical macroeconomic policy directives for Indonesian economic planners and policymakers. First, production management must strike a careful equilibrium between supply-chain efficiency and national energy security. Given that domestic production capacity ($\square_1$) directly drives overall export value, policymakers must ensure efficient extraction logistics while maintaining strict oversight of Domestic Market Obligations (DMO). This ensures that domestic power generation remains fully secured without arbitrarily stifling high-value international trade revenues during global demand surges.

Second, macroeconomic planners must recognize Indonesia's structural position as a price-taker in international energy markets. Because global coal price fluctuations ($\square_2$) and Chinese industrial demand ($\square_3$) serve as the primary external drivers of national export value, fiscal authorities should treat the global Newcastle Index and China's shifting energy policy targets as primary leading indicators in national budget forecasting. Establishing sovereign stabilization reserves during high-price cycles can help insulate national public finances during subsequent commodity downturns.

Finally, monetary authorities must re-evaluate traditional exchange-rate interventions intended to stimulate trade performance. Because the empirical evidence confirms that Rupiah depreciation ($\square_4$) yields no statistically significant enhancement to aggregate export value due to imported capital-input inflation, policymakers should abandon deliberate currency devaluation as an export strategy. Instead, monetary policy should emphasize exchange-rate stability to mitigate import-driven production cost spikes, while trade policy shifts focus toward structural efficiency, logistical infrastructure, and market diversification.

6.2 Mitigating Resource Dependence (2030+)

While primary commodity exports have supported economic expansion over the 1994–2024 period, heavy reliance on coal leaves the national trade balance vulnerable to long-term global decarbonization trends. To maintain economic resilience beyond 2030, economic surpluses generated by current primary commodity exports should be directed into downstream industrialization, high-value manufacturing, and clean energy infrastructure transitions.

References

- Ahumada, H., & Sanguinetti, P. (1995). The export-led growth hypothesis revisited: theory and evidence. *Estudios de Economía*, 22(2), 327-355.
- Aksoy, B., Akpınar, A., & Ünüsan, Ç. (2024). Export performance: a comprehensive bibliometric overview. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 39(6), 1352-1377.
- Alguacil, M., Turco, A. L., & Martínez-Zarzoso, I. (2022). Robot adoption and export performance: Firm-level evidence from Spain. *Economic Modelling*, 114, 105912.
- Baccaro, L., & Höpner, M. (2022). The political-economic foundations of export-led growth: An analysis of the German case. *Diminishing returns: The new politics of growth and stagnation*, 1, 238-267.
- Farida, I., & Setiawan, D. (2022). Business strategies and competitive advantage: the role of performance and innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3), 163.
- Glauber, J. W., Laborde Debucquet, D., & Mamun, A. (2023). From bad to worse: How Russia-Ukraine war-related export restrictions exacerbate global food insecurity. *IFPRI Discussion Paper*.

- Guo, Y., & Zhao, H. (2024). Volatility spillovers between oil and coal prices and its implications for energy portfolio management in China. *International Review of Economics & Finance*, 89, 446-457.
- Hart, P. F., & Rodgers, W. (2024). Competition, competitiveness, and competitive advantage in higher education institutions: a systematic literature review. *Studies in Higher Education*, 49(11), 2153-2177.
- Li, L. (2023). Commodity prices volatility and economic growth: empirical evidence from natural resources industries of China. *Resources Policy*, 80, 103152.
- Lin, B., & Song, Y. (2024). Coal price shocks and economic growth: A province-level study of China. *Energy Policy*, 193, 114297.
- Luu, T. D. (2023). Digital transformation and export performance: a process mechanism of firm digital capabilities. *Business Process Management Journal*, 29(5), 1436-1465.
- Najafi-Tavani, Z., Zantidou, E., Leonidou, C. N., & Zeriti, A. (2025). Business model innovation and export performance. *Journal of International Business Studies*, 56(3), 360-382.
- Ortigueira-Sánchez, L. C., Welsh, D. H., & Stein, W. C. (2022). Innovation drivers for export performance. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1(2), 100013.
- Panta, H., Devkota, M. L., & Banjade, D. (2022). Exports and imports-led growth: Evidence from a small developing economy. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(1), 11.
- Sajid, M. J., Yu, Z., & Rehman, S. A. (2022). The coal, petroleum, and gas embedded in the sectoral demand-and-supply Chain: Evidence from China. *Sustainability*, 14(3), 1888.
- Salmerón, J. P., Valle, R. S., & Molina-Castillo, F. J. (2025). Beyond borders: Unraveling the tapestry of export performance through business model innovation, open innovation, and organisational agility. *Technovation*, 144, 103237.
- Sianturi, D. J. A. (2024). Fluctuating commodity prices' effect on Indonesian coal and palm oil. *EKUITAS (Jurnal Ekonomi Dan Keuangan)*, 8(1), 67-84.
- Xiang, S., & Cao, Y. (2023). Green finance and natural resources commodities prices: Evidence from COVID-19 period. *Resources Policy*, 80, 103200.
- Yadav, A. K., & Chattopadhyay, U. (2026). Determinants of India's groundnut export performance: an empirical analysis. *International Journal of Emerging Markets*, 21(6), 1819-1840.
- Yaghmaian, B. (1994). An empirical investigation of exports, development, and growth in developing countries: Challenging the neoclassical theory of export-led growth. *World Development*, 22(12), 1977-1995.

ALBANIA'S YOUTH GUARANTEE JOURNEY: AN INDEPENDENT YOUTH PERSPECTIVE

PhD(c) Arjela Merkuri
University of Tirana, Faculty of Social Sciences, Department of Labor and Social Policy
Tirana, Albania
ORCID NO: 0009-0004-7766-0717

ABSTRACT
Supporting young people's transition from education to employment is a key European priority. The Youth Guarantee (YG) aims to ensure timely access to quality opportunities in employment, education or training. In Albania, its implementation represents an important youth employment policy priority and a component of the EU accession process. Since 2023, the country has progressively developed its institutional and operational framework, with the 2026–2028 Implementation Plan placing greater emphasis on outreach and Local Partnership Networks to identify and support young people not in employment, education or training (NEETs).This paper examines Albania's progress in implementing the Youth Guarantee between November 2023 and September 2026, focusing on institutional arrangements, outreach mechanisms and beneficiaries' experiences. It adopts a mixed-methods approach, combining desk research and administrative data analysis with evidence from three focus group discussions conducted in April 2026 in Tirana, Shkodra and Vlora.
The findings show that beneficiaries generally value the support received, particularly opportunities to gain work experience, develop professional skills and access employment pathways. However, limited programme awareness, reliance on informal networks and challenges in reaching young NEETs remain significant concerns. The study highlights the need for stronger outreach, improved institutional coordination and more relevant, practical learning opportunities. It provides insights from the pilot phase to inform the further development of a more inclusive and sustainable Youth Guarantee system in Albania.
Keywords: Youth Guarantee; NEETs; youth employment; school-to-work transition; outreach

INTRODUCTION:
The transition from education to employment represents a critical stage in young people's lives, with significant implications for their economic independence, social inclusion, and long-term career prospects. However, this transition is not always straightforward, as young people may encounter structural barriers related to skills mismatches, limited work experience, insufficient access to career guidance, and unequal opportunities in the labour market. These challenges are particularly pronounced among young people who are not in employment, education or training (NEET), a heterogeneous group whose circumstances may reflect different combinations of unemployment, economic inactivity, care responsibilities, educational disadvantage, and disconnection from formal support services. Addressing the needs of this group has therefore become a major priority in European employment and social inclusion policies.
At the European level, the Youth Guarantee (YG) constitutes an important policy framework for supporting young people's transition into the labour market. It aims to ensure that young people receive a good-quality offer of employment, education, or training. Beyond facilitating access to employment opportunities, the Youth Guarantee places emphasis on early intervention, individualized support, effective partnerships, and the identification of young people who remain outside established education, training, and employment systems. Its effectiveness consequently depends not only on the availability

of appropriate offers, but also on the capacity of institutions to identify and engage potential beneficiaries, assess their individual circumstances, and provide coordinated support tailored to their needs.

For the Western Balkans, the Youth Guarantee has gained particular importance in the context of European integration and ongoing efforts to improve youth employment outcomes. In Albania, the implementation of this framework represents both a national policy priority and a component of the country's broader commitment to aligning its employment and skills policies with European Union standards. The National Employment and Skills Strategy (NESS) 2023–2030 provides the wider policy framework for strengthening employment services, developing workforce skills, and improving labour market inclusion. Within this context, the Youth Guarantee Implementation Plan (YGIP)[7], adopted in March 2023, established the foundations for implementing the scheme for young people aged 15–29 who are not in employment, education or training, with the objective of providing them with an appropriate offer within four months of registration with employment services.

The scale and characteristics of the NEET population highlight the importance of this intervention. In the 2sd quarter of 2026, the youth unemployment rate dropped at 17.7%.[8] but it remains particularly high among women, older youth (25–29), and young people with lower levels of education. Women are more likely to be inactive NEETs due to caregiving responsibilities, particularly those with low or medium education levels, whereas men are more likely to be actively seeking employment but face longer unemployment spells. Furthermore, young people with limited education face an increased risk of prolonged exclusion from the labour market, with the likelihood of remaining outside employment, education, and training increasing with age. These patterns indicate that the NEET population cannot be treated as a homogeneous group and that effective interventions require differentiated approaches addressing the specific barriers experienced by different categories of young people.

Albania's initial implementation experience has provided an opportunity to test the institutional arrangements and service delivery mechanisms required to operationalize the Youth Guarantee. The initial pilot phase launched on 27 October 2023 provided important lessons regarding the operational requirements for scaling up the Youth Guarantee. The pilot was initially implemented in three municipalities and subsequently expanded at regional level, covering Tirana, Shkodra, and Vlora. By December 2025, a total of 2,252 young people had been enrolled in the Youth Guarantee Scheme and benefited from employment and skills services provided by NAES. Building on these results and lessons learned, the Youth Guarantee was expanded in 2026 to the entire territory of the Republic of Albania, reaching out and enrolling more than 3600 NEETs, as of June 2026. Furthermore, the Youth Guarantee Implementation Plan 2026–2028 was approved by Decision of the Council of Ministers No. 410[9], dated 3 June 2026, amending Decision No. 173, dated 24 March 2023, on the approval of the National Employment and Skills Strategy 2023–2030, its Action Plan, and the Youth Guarantee Implementation Plan.

Furthermore, the Government adopted Decision of the Council of Ministers No. 91[10], dated 12 February 2025, approving the Priority Policy Document 2026–2028, which includes the Youth Guarantee among the country's policy priorities. This decision reinforces the government's policy commitment to advancing the scheme and situates its implementation within the broader framework of national policy planning. These developments reflect Albania's efforts to strengthen the institutional and strategic foundations of the Youth Guarantee. However, the effectiveness of this policy ultimately depends not only on formal commitments and institutional arrangements but also on its ability to reach young people

[7] https://qbz.gov.al/akt/66847

[8] https://www.instat.gov.al/en/themes/labour-market-and-education/employment-and-unemployment-from-lfs/

[9] https://qbz.gov.al/akt/61226

[10] https://qbz.gov.al/akt/29819

who are most at risk of exclusion and to respond to their specific needs and experiences.

One of the central challenges in implementing the Youth Guarantee concerns reaching young people who are not already connected to formal employment or social support services. Although digital application channels and employment offices provide important entry points, they may not be sufficient to reach economically inactive young people, those who are unaware of the available programmes, or those who are reluctant to engage with public institutions due to a lack of trust in them. In Albania, informal networks, including relatives and acquaintances, may also influence how young people access information about employment opportunities and available support. These circumstances underline the importance of outreach mechanisms that extend beyond conventional service delivery and establish direct connections with young people in their communities. They also highlight the need for stronger cooperation among employment services, municipalities, social protection institutions, education and vocational training providers, civil society organisations, and youth structures.

Recent developments in Albania's Youth Guarantee framework reflect an increasing recognition of these challenges. The Youth Guarantee Implementation Plan 2026–2028, approved in June 2026, introduces a renewed strategic framework that places particular emphasis on outreach and the development of Local Partnership Networks. These networks are intended to strengthen coordination among relevant institutions and local stakeholders in identifying, contacting, activating, referring, and supporting young NEETs. Complementary outreach activities supported through the EU4Youth initiative have also involved non-governmental and youth organisations in Tirana, Shkodra, and Vlora.

Project"EU4Youth (2023–2026), implemented by UNICEF and UNDP, supports the improvement of NEET youth employability through the piloting of Youth Guarantee measures only in the initial Pilot Regions, namely: in Tirana, Vlora and Shkodra. The project contributes to strengthening institutional capacities, local partnerships, youth outreach, and the delivery of Youth Guarantee services, while testing approaches for mapping, outreach, preparation and offers in the pilot regions of Tirana, Vlora and Shkodra, and improving cooperation between employment services, VET providers and private sector actors.

Between November 2023 and September 2026[11], a total of 4,747 young people aged 15–29 entered the Youth Guarantee (YG) scheme in Albania, including 2,638 women (55.6%) and 2,109 men (44.4%). By age group, 893 participants were aged 15–19, 1,971 were aged 20–24, and 1,883 were aged 25–29. By September 2026, 3,647 young people had exited the scheme, while 1,100 remained enrolled. Regarding exit destinations, 1,648 exits were classified as positive destinations, including 1,331 young people entering employment and 401 entering education, while no exits to apprenticeships were reported.

In addition, 784 young people benefited from subsidized employment. The data indicate that 3,105 exits (85.1%) occurred within the first four months. Follow-up data collected six months after exit show that, among the 1,648 young people who exited towards employment, 799 were reported in employment, while among the 1,331 who exited towards education, 120 were in employment and 69 remained in education. Of the 401 young people who exited towards traineeships, 41 were in employment and 49 were in a traineeship six months later. However, the follow-up dataset contains incomplete or inconsistent figures, and data for 12 and 18 months after exit are not yet sufficiently complete to assess the sustainability of outcomes. Strengthening follow-up monitoring and data quality is therefore essential to evaluate young people's longer-term transitions into employment, education and training.

The Youth Guarantee Programme in Albania is entering a phase of development and

[11] NAES administrative statistics

consolidation, with further implementation steps continuing throughout 2026. Building on the lessons learned from the pilot phase, the Youth Guarantee Implementation Plan (YGIP) 2026–2028 aims to consolidate ongoing reforms, strengthen institutional capacities and establish an updated strategic and institutional framework for the governance and implementation of the scheme at national level. It seeks to move from a pilot-based approach towards a sustainable and nationally applicable model that ensures more effective support for young people not in employment, education or training. The implementation of the YGIP is grounded in Albania's partnership framework with the European Union under IPA III and will be partly supported by the Operational Programme "EU for Youth Employment 2024–2027". The two instruments are complementary: the YGIP sets the strategic direction and implementation framework, while the Operational Programme supports the development of the institutional capacities and instruments required for effective national delivery.

METHODOLOGY

This paper adopts a mixed-methods, policy-analysis approach, combining desk research and the analysis of administrative data with qualitative evidence from focus group discussions to examine the implementation of the Youth Guarantee (YG) in Albania and identify key implementation gaps. The analysis focuses on the pilot phase of the Youth Guarantee, covering the period from November 2023 to September 2026, and examines both institutional implementation arrangements and the experiences of young beneficiaries.

The desk research draws on relevant European and national policy documents, strategic frameworks, legislation, implementation plans, and institutional reports related to the Youth Guarantee. These sources were reviewed to establish how the policy is designed, governed, and implemented, with particular attention to its objectives, target groups, institutional responsibilities, coordination mechanisms, service delivery arrangements, and monitoring frameworks. In parallel, administrative data and available implementation indicators were examined to assess progress during the pilot phase, including young people's participation and access to offers under the Youth Guarantee. The analysis of these data provided a quantitative perspective on implementation progress and helped contextualise the qualitative findings.

The qualitative component consisted of three focus group discussions conducted in April 2026 with young people who had participated in the Youth Guarantee in Tirana, Shkodra, and Vlora, the three municipalities involved in the pilot implementation. Each focus group included between six and nine participants from different age groups. Most participants had received an offer through the Youth Guarantee. The discussions explored beneficiaries' experiences and perceptions of the initiative, including their engagement with employment services, access to employment, education, vocational training, or other relevant opportunities, and their assessments of the support received. Particular attention was paid to participants' experiences throughout the process and to the barriers and challenges they encountered.

The administrative data were examined to identify patterns in implementation progress, while the qualitative material was analysed thematically to identify recurring experiences, perceptions, and challenges reported by participants. The findings from the documentary review, administrative data, and focus group discussions were then compared and triangulated to identify areas of convergence and divergence between policy objectives, implementation patterns, and beneficiaries' reported experiences. Integrating these sources enabled the study to examine the Youth Guarantee from both an institutional and a beneficiary perspective, providing an evidence-informed basis for identifying implementation gaps and formulating recommendations to strengthen policy delivery and institutional coordination.

Limitations

The findings should be interpreted in light of the study's scope and methodological limitations. The three focus groups provide qualitative insights into the experiences of young people in the three pilot municipalities but are not intended to be statistically representative of all Youth Guarantee participants in Albania. As most participants had received an offer, their experiences may not fully reflect those of young people who entered the programme but did not receive an offer or who disengaged during the process. Furthermore, the scope of the administrative analysis depends on the availability, completeness, and level of disaggregation of the data accessible for the study. The qualitative findings also rely on participants' self-reported experiences and perceptions. Accordingly, the study aims to identify implementation patterns, challenges, and lessons rather than to establish causal relationships or provide a definitive measurement of the programme's overall impact.

RESEARCH AND FINDINGS

1.The Youth Guarantee as part of EU accession

The Youth Guarantee should not be understood merely as a standalone youth employment programme, but as part of Albania's broader reform process towards EU accession. Its implementation is particularly relevant to Cluster 3 – Competitiveness and Inclusive Growth, and more specifically to Chapter 19 – Social Policy and Employment, which covers employment policy, social inclusion, social protection and related areas. The European Commission's 2026 Albania Report confirms that the implementation of the National Employment and Skills Strategy 2023–2030 continued during the reporting period, with an increasing number of young people benefiting from the Youth Guarantee. In June 2026, Albania approved the Youth Guarantee Implementation Plan 2026–2028, marking the transition from a pilot programme in three municipalities to a nationwide rollout (European Commission, 2026). This development is particularly significant from an EU accession perspective because it shows a transition from policy experimentation towards the institutionalisation and wider delivery of the Youth Guarantee. However, the expansion of the scheme also takes place in a labour market characterised by persistent structural challenges. According to the European Commission, Albania continues to face skills mismatches, a large share of inactive NEETs and continuous youth migration. These challenges suggest that the effectiveness of the Youth Guarantee depends not only on expanding its geographical coverage, but also on the capacity of institutions to identify, engage and support young people who remain outside employment, education and training (European Commission, 2026).

What does this mean in practice? From an EU accession perspective, progress in implementing the Youth Guarantee should therefore be assessed not only through the adoption of policy documents or the number of young people entering the scheme, but also through the capacity of the system to provide effective, timely and measurable support to young people.

The 2020 Council Recommendation on a reinforced Youth Guarantee establishes the objective that young people under the age of 30 should receive a good-quality offer of employment, continued education, an apprenticeship or a traineeship within four months of becoming unemployed or leaving formal education. In the Albanian context, the implementation of this principle requires a system capable of performing several interconnected functions.

- Identification and outreach to young people in NEET situations

A key challenge is reaching young people who are outside employment, education and training but who are not actively registered with employment services. This is particularly important given the European Commission's assessment that Albania continues to have a large share of inactive NEETs. Effective implementation therefore requires stronger outreach and cooperation between employment services, municipalities, education and vocational training institutions, youth organisations and other relevant stakeholders.

- A partnership structure with a clear institutional and legal basis

The Youth Guarantee requires coordination across employment, education, vocational training and social inclusion policies. The move towards nationwide implementation increases the importance of clearly defined institutional responsibilities, referral mechanisms and cooperation between national and local actors. The objective should be to ensure continuity of support rather than fragmented interventions between institutions.

- A pathway from first contact to a qualifying offer within four months

Registration should represent the beginning of a structured pathway rather than an administrative endpoint. This pathway should include individual assessment, career guidance, an appropriate employment or training plan, referral and follow-up. The four-month principle therefore requires both timely services and sufficient availability of quality offers that correspond to young people's profiles and labour-market needs.

- Reliable data and monitoring

The expansion from a three-municipality pilot to nationwide implementation also increases the importance of reliable administrative data and monitoring. The system should be able to follow young people's pathways from entry to the offer received and subsequent outcomes. Such information is essential for assessing whether the Youth Guarantee is reaching inactive NEETs, identifying implementation gaps and evaluating the effectiveness of employment, education, training and apprenticeship offers.

In this sense, monitoring should not be treated only as a reporting requirement. It should form part of routine case management and policy learning. Reliable data can help institutions identify which groups are being reached, where young people leave the pathway, which types of offers lead to positive outcomes and where additional institutional capacity is required.

Overall, the 2026 developments suggest that Albania has moved from the pilot phase towards the institutionalisation and nationwide implementation of the Youth Guarantee. At the same time, the challenges identified by the European Commission – particularly inactive NEETs, skills mismatches and youth migration – indicate that the next stage of implementation will depend not simply on expanding the programme, but on strengthening outreach, coordination, service quality and monitoring. In this respect, the Youth Guarantee can be viewed as both a youth employment instrument and a practical test of Albania's capacity to implement integrated employment and social policies in line with the broader objectives of the EU accession process.

2. Albania Journey to Youth Guarantee

Albania's journey towards implementing the Youth Guarantee has evolved from an initial pilot initiative into a broader national policy framework aimed at improving the transition of young people from education to employment. The design of the scheme has been informed by the profile and specific needs of young people not in employment, education or training (NEET), recognising the diversity of barriers they face, including limited access to employment opportunities, skills mismatches, geographical inequalities and social exclusion. Understanding the characteristics of this target group has been essential for shaping outreach mechanisms, preparatory services and the types of offers available to young people.

The institutional development of the Youth Guarantee has been guided by the Youth Guarantee Implementation Plan (YGIP), which establishes the strategic priorities, implementation measures and institutional responsibilities for delivering the scheme. The governance framework brings together the Ministry of Economy and Innovation, the National Agency for Employment and Skills (NAES), and other relevant public institutions and stakeholders. NAES plays a central operational role in coordinating service delivery through employment offices, while cooperation with municipalities, education and vocational training providers, employers, social partners and civil society organisations is essential to identify and engage young people in NEET situations and facilitate their access to appropriate opportunities.

Implementation has progressed through several stages, beginning with municipal-level piloting in Tirana, Shkodra and Vlora in October 2023. In January 2025, the programme expanded to the regional level, strengthening its implementation through the respective regional employment structures. Subsequent developments have focused on consolidating institutional experience, improving service-delivery mechanisms and preparing for nationwide implementation. The YGIP 2026–2028 provides the strategic framework for this next phase, aiming to transform the experience gained during the pilot and regional implementation stages into a more consistent, sustainable and nationally applicable model. Progress reports and evaluations have contributed to identifying implementation achievements, operational challenges and areas requiring further institutional strengthening.

Financing has also been a central element of Albania's approach. The initial pilot phase relied on national budget support and existing institutional resources, while the subsequent expansion has been complemented by European Union assistance. In particular, the Operational Programme "EU for Youth Employment 2024–2027", funded under the Instrument for Pre-accession Assistance (IPA III), provides a framework for supporting the implementation of the reinforced Youth Guarantee. Its priorities include expanding access to employment opportunities for young people, strengthening outreach and engagement, improving institutional capacities, developing relevant education and vocational training offers, and modernising the information systems required for implementation and monitoring. Through this combination of national policy direction, institutional coordination and EU financial support, Albania is seeking to establish a stronger delivery model capable of reaching young people across the country and supporting their sustainable integration into employment, education or training.

3. The Youth Guarantee Outreach Approach and Its Challenges

Outreach represents a fundamental component of the Youth Guarantee in Albania, as its effectiveness depends not only on the availability of employment, education and training opportunities, but also on the capacity of institutions to identify, reach and engage young people who are not in employment, education or training (NEET). The need for a more proactive outreach approach is particularly evident from the profile of the NEET population in Albania.

Albania has developed a Local Partnership Network (LPN) model aimed at strengthening cooperation among public institutions, municipalities, employment offices, education providers, civil society organisations and other local stakeholders. The model operates at national, regional and local levels, supporting the identification, activation and referral of NEET young people through coordinated interventions.

The operational model of the Local Partnership Network is structured around three main levels of intervention: early intervention, identification and activation, and advice and guidance. Early intervention focuses on monitoring absenteeism and educational outcomes, assessing individual needs, preventing early school leaving and providing guidance and support to young people at

risk of disengagement. The identification and activation phase involves locating and contacting NEETs, informing and motivating them, and facilitating their registration and referral to relevant services. The third phase focuses on assessment, counselling, career guidance, soft-skills development and preparation for labour market integration. Through this sequence, the model seeks to increase young people's registration in the Youth Guarantee, facilitate their engagement in preparatory services and employment-related offers, and ultimately contribute to reducing the NEET rate.

The practical implementation of this approach has also involved field-based outreach activities, particularly through cooperation with civil society and youth organisations. Within the EU4Youth initiative, eight NGOs and youth organisations have been involved in delivering outreach activities in the three pilot municipalities of Tirana, Shkodra and Vlora. These activities have reached more than 500 young NEETs in their communities, of whom more than 300 were referred through the information system. An important feature of this intervention is the involvement of young people themselves in leading outreach activities and applying innovative, youth-centred engagement approaches. This approach recognises that young people may be more receptive to information and support when communication takes place through accessible community channels and with the involvement of individuals and organisations with whom they can identify.

Another important operational instrument is the referral mechanism through the Puna.gov.al portal. This mechanism enables partner institutions and external organisations to identify and refer potential beneficiaries to the employment service system, facilitating their pre-registration and access to employment services, active labour market programmes, employment incentives and vocational education and training opportunities. By establishing a more direct connection between community-based outreach and formal employment services, the referral mechanism can contribute to improving the transition from initial contact to registration and participation in the Youth Guarantee. However, its effectiveness also depends on the capacity of partner organisations to maintain contact with young people and ensure that referrals lead to appropriate and timely support. In addition, early intervention measures were implemented in 12 vocational schools in Tirana, Vlora and Shkodra during 2025, focusing on early warning systems and socio-educational support to prevent school dropout.

Despite these developments, several challenges remain relevant to the effective implementation of the outreach model:

First, the high proportion of young NEETs who are not registered with employment services indicates that conventional institutional channels alone cannot ensure sufficient coverage. Reaching economically inactive young women, young people with family responsibilities and those who are disconnected from public institutions requires sustained community engagement and cooperation with organisations operating at the local level.

Second, the effectiveness of the Local Partnership Network depends on clearly defined institutional responsibilities, consistent coordination and the availability of adequate human and financial resources. Differences in local institutional capacities may affect the implementation of outreach activities and the continuity of support across municipalities.

Third, identifying and contacting young people does not automatically guarantee their activation or participation. Individual circumstances, limited awareness, lack of motivation, distrust of public institutions and the suitability of available opportunities may influence their willingness to engage with the programme.

4. Youth Guarantee from the beneficiaries’ perspective.

Information and access to employment services

The findings from the focus groups suggest that personal networks play an important role in informing young people about employment offices and available opportunities. Participants mainly learned about these services through family members, friends, peers, and other acquaintances. Social service staff, university professors, and individual online research were also mentioned as sources of information. The testimonies further indicate that access to information does not always translate into immediate employment, as family responsibilities and the need for flexible working hours may limit young people's opportunities.

> "I had also heard about the employment office from my parents, my friends, and my professors. Recently, while doing my own research, I also read that the employment office has made many changes, for example, the Youth Guarantee, which is a new initiative."
>
> Beneficiary, Shkodra

> "I also heard about it from my peers who had been unemployed and had found jobs. I asked them, and they told me to go to the employment offices to apply for a job. I applied with the help of the social centre staff. It has been almost a month since I applied, and I am still waiting. They have offered me some jobs, but I have children and cannot work long hours because I take care of them. My youngest son has some problems, and I am waiting for them to offer me a job with shorter working hours."
>
> Beneficiary, Tirana

> "I received the information from a female relative of mine. A friend told me that the internship programme had opened for students who had graduated within the last three years. I am interested because I see it mainly as an experience for myself, as I am currently also doing an internship related to my field of study. In the meantime, I am also getting information here."
>
> Beneficiary, Vlora

Experiences with employment office staff

Regarding the treatment received from employment office staff, most participants evaluated their experience with the programme positively, highlighting the staff's responsiveness, supportive approach, motivation, and ability to create a welcoming environment. Participants also described the practical benefits of the support received, including access to employment programmes, vocational training, and full-time employment.

> "Personally, since it was my second time, it was very good. Even the first time, immediately after I applied, I was offered a position within a very short time. They were quite quick in communicating, and they also made you feel welcome when coming there."
>
> Beneficiary, Shkodra

> "I had a very positive experience. They were very helpful, very supportive, and above all, motivating. They were very supportive, and I was very satisfied."
>
> Beneficiary, Tirana

> "The staff helped me a lot, and I have been involved in projects. Previously, I benefited from the public community employment programme, where I worked only four hours. Now I work full-time for the Municipality of Vlora in cleaning services. I also benefited from a three-month mechanic training course. I liked the course, I did what I wanted to do, and I am also working."
>
> Beneficiary, Vlora

Expectations and suitability of job offers

Participants expressed different expectations regarding job offers received through the programme. While some were willing to accept almost any job in order to gain employment and learn new skills, others received several offers related to their professional background but faced difficulties securing a position due to their lack of work experience. These accounts highlight the importance of matching job offers with participants' expectations while considering their experience and individual needs.

> "Since I started the process, to be honest, I would like a job, whatever job it may be, as long as it is a job. Since I have not completed all my schooling, I always wanted to learn new things that could be offered to me."
>
> Beneficiary, Shkodra

> "The second time was successful. From the moment I applied, I was offered two or three job offers, to be honest, but as I mentioned before, it did not work out because of the lack of experience. The offers were related to my professional background."
>
> Beneficiary, Tirana

Willingness to recommend the Youth Guarantee to peers

Most participants expressed a willingness to recommend the Youth Guarantee to their peers, with some reporting that they had already done so.

> "Definitely (unanimously). We have recommended it."
>
> Beneficiaries, Tirana

> "Yes, in our circle there are young people, but they do not have the desire to work."
>
> Beneficiary, Vlora

However, their accounts also highlighted perceived barriers to participation among other young people, including limited motivation to work, expectations of immediate financial rewards, and a preference for stable, full-time employment over opportunities that offer gradual professional development. Participants suggested that some young people may overlook the long-term benefits of gaining experience and investing in their skills.

> "„, since we are young, they want to have a job with a basic salary. They do not look at the small things; they want to have something big immediately, or they want it to be an eight-hour job. They do not have the principle that good things start from zero and progress step by step. Young people today want easy things, ready-made, and to achieve them as quickly as possible. They do not have the mindset of making sacrifices for themselves and their future. They are used to having everything ready and making everything as easy as possible. So, they look for an easy employment opportunity, a basic salary to cover their monthly expenses, and they do not invest in their own development."

Beneficiary, Tirana

"They focus more on material benefits, not on what they learn or what they gain. If they looked at this other side, I am very sure they would be interested. Since they are 50–50, they do not have an economic incentive."

Beneficiary, Vlora

"They are distrustful. They think it is not true. I tell them, 'No, I am telling you, it is a really good opportunity.' At first, they do not believe it, but I tell them to go to the employment office first and then decide."

Beneficiary, Shkodra

"They are distrustful. They say, 'Why should I go and waste my time for so little money? It is better to start working as a waiter and earn 500,000 lek than to sit around.' They do not think that, as a waiter, they will not gain new knowledge; they will only learn the job of a waiter. But here, they will gain other knowledge that they really need. And why not attend this course when it is offered to us free of charge?"

Beneficiary, Vlora

Participants' recommendations for improving the Youth Guarantee scheme

Participants emphasised the need to increase public awareness of the Youth Guarantee through social media, public information campaigns, and direct outreach to young people. They also recommended organising information sessions at universities and distributing brochures to ensure that young people, particularly those who are not yet familiar with the programme, are informed about the available opportunities and its potential benefits.

"Perhaps the word needs to be spread in some way that this opportunity for young people to apply exists, and that it is a successful initiative, with communication before employment and results. More information on social media and raising public awareness."

Beneficiary, Tirana

"It would be good to have some open sessions at universities, or brochures at university entrances, just to provide information that they can understand. Because Vlora is a very large place, and there are people from the surrounding areas, and most of them do not know about it."

Beneficiary, Vlora

CONCLUSION:

The implementation of the Youth Guarantee in Albania represents an important step towards strengthening youth employment policies and supporting the transition from education to employment. It also contributes to promoting equal opportunities, reducing the risk of social exclusion and ensuring that all young people, particularly those facing multiple barriers, have access to meaningful opportunities for personal and professional development.

The findings from the focus group discussions indicate that beneficiaries generally value the support received through the Youth Guarantee, particularly opportunities to gain practical work experience, develop professional skills and access employment or vocational training. Nevertheless, their experiences also reveal persisting challenges, including limited awareness of the programme, difficulties in matching job offers with individual profiles and expectations, lack of work experience, and family responsibilities that may restrict access to certain employment opportunities. The fact that participants often learned about employment services through relatives, friends and other informal networks further highlights the need for more systematic and accessible public information.

In this regard, the **outreach model** represents a particularly important element for the future development of the Youth Guarantee in Albania. Effective outreach should go beyond informing young people about available services and focus on identifying, contacting, engaging and motivating those who remain disconnected from employment, education and training systems. The LPNs provide a valuable framework for this purpose by bringing together employment services, municipalities, educational and vocational training institutions, youth organisations and civil society actors. Their coordinated involvement can strengthen early intervention, community-based identification, individual assessment and referral to appropriate services. The outreach activities supported through EU4Youth in Tirana, Shkodra and Vlora demonstrate the contribution of local organisations in reaching young NEETs who may not otherwise approach public employment services.

However, the effectiveness of this model depends on its sustainability and integration into regular institutional structures. Moving beyond project-based activities requires clearly defined institutional responsibilities, adequate human and financial resources, practical referral procedures and systematic monitoring of results. Monitoring should consider not only the number of young people contacted, but also their subsequent registration, participation, access to quality offers and employment or education outcomes.

Overall, the consolidation of the Youth Guarantee under the Implementation Plan 2026–2028 provides an opportunity to transform the experience gained during the pilot phase into a more coordinated, inclusive and nationally applicable system. Strengthening Local Partnership Networks, expanding targeted outreach, improving the relevance and quality of offers, and ensuring systematic follow-up should remain key priorities. Ultimately, the success of the Youth Guarantee should be measured not only by the number of young people entering the scheme, but by its capacity to reach those most at risk of exclusion and support their sustainable integration into employment, education or training.

REFERENCES

Decision No. 173, dated 24.3.2023 “On the approval of the National Employment and Skills Strategy 2023–2030, its Action Plan, and the Youth Guarantee Implementation Plan 2023–2024 https://qbz.gov.al/akt/66847

Decision No. 91, dated 12 February 2025” On the approval of the Priority Policy Document 2026–2028” https://qbz.gov.al/akt/29819

Decision of the Council of Ministers No. 410, dated 03.06.2026, “On some amendments to Decision No. 173, dated 24.03.2023, of the Council of Ministers, ‘On the approval of the National Employment and Skills Strategy 2023–2030, the Action Plan for its implementation, as well as the Youth Guarantee Implementation Plan 2023–2025’, amended https://qbz.gov.al/akt/61226

European Commission. (2023). *Screening report: Albania – Cluster 3: Competitiveness and*

Inclusive Growth. European Commission.
European Commission. Albania Report 2026*(europa.eu)*
European Training Foundation. (2026). Youth Guarantee in the Western Balkans: Mapping and implementation challenges.
https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/e1b64af721264f258da2238d56d7dfa3_en?filename=albania-report-2026.pdf
https://www.instat.gov.al/en/themes/labour-market-and-education/employment-and-unemployment-from-lfs/
https://www.undp.org/albania/projects/eu4youth
International Labour Organization. (2022). Global employment trends for youth 2022: Investing in transforming futures for young people.
Ministry of Economy and Innovation, Progress Report for 2025 – National Employment and Skills Strategy 2023-2030 https://ekonomia.gov.al/en/raporte/
Multiannual Operational Programme for Youth Employment in Favour of the Republic of Albania for 2024-2027, ratified with law no 34/2025, under the Instrument for Pre-Accession Assistance (IPA III) https://qbz.gov.al/eli/fz/2025/111
National Agency for Employment and Skills (2024). *NEET characteristics and data gaps in Albania*
OECD (2024), Western Balkans Competitiveness Outlook 2024: Albania, Competitiveness and Private Sector Development, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/541ec4e7-en.
Regional Cooperation Council (RCC). (2021). Study on Youth Employment in the Western Balkans.file:///C:/Users/User/Downloads/Study-on-Youth-Employment-in-the%20Western-Balkans-08072021.pdf
World Bank. (n.d.). Share of youth not in education, employment or training, total (% of youth population) – Albania. https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.NEET.ZS?locations=AL

ORGANOIDS AS NEXT-GENERATION MODELS FOR DRUG TESTING: ADVANCING DRUG DISCOVERY, PREDICTIVE TOXICITY ASSESSMENT, AND PERSONALIZED MEDICINE

R. Devadharshini
David G
Gomathy E
Meenatchi S
Venmugilan
S. Kalaivanan
Dr.W.Helen
Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai, India

Abstract:
Traditional preclinical drug testing methods, including two-dimensional (2D) cell cultures and animal models, often fail to accurately predict human drug responses. Organoids have emerged as innovative three-dimensional (3D) in vitro models that closely resemble the structural and functional characteristics of human organs. This review explores the potential of organoid technology as an advanced platform for drug discovery, toxicity assessment, disease modelling, and personalized medicine. Relevant scientific literature on intestinal, liver, brain, and patient-derived tumor organoids was reviewed to understand their applications in pharmaceutical research. Organoids offer significant advantages in evaluating drug efficacy, predicting organ-specific toxicity, and identifying potential therapeutic candidates. Patient-derived tumor organoids provide opportunities to assess individual responses to anticancer treatments, supporting precision oncology. Similarly, liver organoids are useful in investigating drug-induced liver injury, while intestinal organoids help evaluate drug absorption and gastrointestinal toxicity. Despite their promising applications, challenges such as high production costs, batch-to-batch variability, limited vascularization, and lack of standardized protocols remain. Further advancements in organoid engineering, culture techniques, and standardization could improve their reliability in pharmaceutical research. Organoid technology represents a promising next-generation approach to preclinical drug testing, with the potential to enhance drug development, improve therapeutic predictions, and advance personalized medicine.

Keywords:
Drug Discovery, Drug Toxicity, Organoids, Personalized Medicine, Preclinical Testing.

A NATIONAL BROADBAND, 5G, FIBRE-OPTIC AND NEXT-GENERATION TELECOMMUNICATIONS CAPACITY FRAMEWORK FOR INCLUSIVE DIGITAL GROWTH

MS. SABHEEN GHOURY
PARLIAMENTARY SECRETARY (IT & TELECOMMUNICATION),
Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan
DR. MUHAMMAD FAISAL
Joint Director (AICU), Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan
ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT
Pakistan is undergoing a major transformation in its telecommunications sector, driven by increasing mobile broadband adoption, digital financial services, e-commerce, artificial intelligence, cloud computing, online education and digital public services. The growth in internet consumption has created an urgent need to strengthen national telecommunications infrastructure and develop a sustainable, affordable and resilient broadband ecosystem. According to the Government of Pakistan's Economic Survey 2024–25, broadband subscriptions reached approximately 147.2 million by March 2025, while combined mobile and fixed broadband data consumption was estimated at 27,897 petabytes during FY2024–25. More recent government reporting in 2026 indicates that Pakistan has exceeded 205 million telecom subscriptions and 161 million broadband users. These developments demonstrate the increasing importance of digital connectivity as a foundation for national economic development. This research examines Pakistan's current internet infrastructure, identifies limitations in existing broadband services, evaluates the transition from 4G to 5G, and proposes a national connectivity framework extending to 2030. Using secondary data, comparative policy analysis and quantitative scenario modelling, the study develops three principal infrastructure priorities: expansion of fibre-optic networks, deployment of 5G and advanced mobile broadband, and strengthening of international and domestic network capacity. Under the proposed growth scenarios, Pakistan's annual internet traffic could reach approximately 56–69 exabytes by 2030, assuming annual traffic growth of 15–20% from the FY2024–25 baseline. The paper recommends a phased national programme covering network capacity, universal connectivity, rural broadband, affordability, infrastructure sharing, cybersecurity, data centres and digital inclusion. The research proposes a coordinated approach involving the Ministry of Information Technology and Telecommunication, Pakistan Telecommunication Authority, Universal Service Fund, telecom operators, provincial governments and private-sector investors. The ultimate objective is to establish a reliable, affordable, inclusive and future-ready digital infrastructure capable of supporting Pakistan's economic and technological requirements through 2030.
Keywords: Digital Pakistan, 4G, 5G, 6G, broadband infrastructure, fibre optics, telecommunications, internet capacity, digital inclusion, artificial intelligence, data centres, national connectivity, Pakistan Vision 2030.

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Internet connectivity has become a fundamental requirement for economic development, national competitiveness, education, healthcare, financial inclusion, public administration and

technological innovation. Countries worldwide are investing in advanced telecommunications infrastructure to support growing demand for high-speed internet, artificial intelligence, cloud computing, the Internet of Things (IoT), smart cities and digital government services.

Pakistan has made considerable progress in expanding mobile telecommunications and broadband connectivity. The rapid adoption of smartphones, mobile banking, digital payments, social media, e-commerce and online education has increased dependence on reliable internet services.

However, the expansion of subscriptions alone does not necessarily indicate that citizens receive high-quality internet. Network capacity, reliability, affordability, geographical coverage, international bandwidth and infrastructure resilience are equally important. Pakistan therefore requires a comprehensive national connectivity framework that moves beyond the conventional expansion of mobile subscriptions and focuses on meaningful, high-quality internet access.

1.2 Current telecommunications landscape

Pakistan's telecommunications sector has experienced substantial growth over recent years. According to the Pakistan Economic Survey 2024–25:

- Broadband subscriptions increased from 83.8 million in FY2019–20 to 147.2 million by March 2025.
- Combined mobile and fixed broadband data consumption reached an estimated 27,897 petabytes in FY2024–25.
- Telecom subscriptions reached approximately 199.99 million by March 2025.
- Broadband penetration reached approximately 59.8% by March 2025.

More recent official reporting in 2026 indicates over 205 million telecom subscriptions and more than 161 million broadband users. These statistics illustrate the scale of Pakistan's digital market and the need for infrastructure that can accommodate increasing demand.

1.3 Problem statement

Despite improvements in telecommunications infrastructure, Pakistan faces several challenges:

1. Inadequate fibre-optic connectivity in several rural and underserved areas.
2. Limited fixed broadband penetration compared with mobile broadband.
3. Uneven internet quality between major cities and smaller districts.
4. Increasing network congestion during peak usage periods.
5. High infrastructure deployment costs and right-of-way barriers.
6. Dependence on international submarine cable connectivity.
7. Affordability barriers for low-income households.
8. Limited digital device ownership and digital literacy.
9. Insufficient network redundancy and resilience.
10. Increasing requirements for AI, cloud computing and data-intensive applications.

The World Bank's April 2025 Pakistan Development Update identifies infrastructure concentration, right-of-way challenges and relatively low broadband speeds as important constraints. Its analysis also highlights the gap in fixed broadband infrastructure.

1.4 Research objectives

The primary objectives are:

- Assess Pakistan's existing internet infrastructure and demand.
- Evaluate the country's transition from 4G to 5G.
- Estimate national internet traffic requirements through 2030.
- Identify the required international bandwidth and domestic backbone capacity.
- Develop proposed broadband service targets for urban and rural populations.

- Examine fibre-optic and data-centre infrastructure requirements.
- Evaluate affordability, cybersecurity and digital inclusion.
- Develop a phased national telecommunications implementation framework.
- Recommend policy and regulatory measures for sustainable digital connectivity.

1.5 Research questions

This study addresses the following questions:

1. Is Pakistan's current telecommunications infrastructure sufficient to accommodate future internet demand?
2. What network capacity will Pakistan require by 2030?
3. How can 5G improve the quality and capacity of mobile broadband?
4. What role should fibre-optic infrastructure play in national connectivity?
5. How can rural and underserved communities receive affordable broadband?
6. What policy and regulatory interventions are required to support infrastructure investment?
7. How should Pakistan prepare for emerging 6G and AI-driven telecommunications technologies?

2. Literature review

2.1 Global evolution of telecommunications

Telecommunications infrastructure has evolved through successive generations of mobile technology.

Generation	Principal technology	Main characteristics
2G	GSM	Digital voice and SMS
3G	UMTS/HSPA	Mobile internet and multimedia
4G	LTE/LTE-Advanced	High-speed mobile broadband
5G	5G NR	Higher capacity, lower latency and massive connectivity
6G	Future wireless networks	AI-native connectivity and advanced sensing

The transition from 4G to 5G represents an important development in telecommunications. While 4G primarily expanded mobile broadband access, 5G introduces capabilities for advanced industrial applications, smart infrastructure, connected devices and ultra-low-latency communication.

However, 5G performance depends on spectrum availability, network density, fibre-optic backhaul, power infrastructure and investment.

2.2 Pakistan's broadband development

The Government of Pakistan's Economic Survey 2024–25 documents a significant increase in broadband adoption and data consumption.

Financial year	Broadband subscriptions (million)	Total data usage (PB)
2020–21	102.7	12,572
2021–22	118.8	16,250
2022–23	127.6	20,235
2023–24	138.3	25,141
2024–25 (estimated)	147.2	27,897

Pakistan's broadband and internet traffic growth

Historical broadband subscription and annual data traffic indicators. Different units are used on separate charts in the source. The data indicates that annual traffic more than doubled between FY2020–21 and FY2024–25. This creates pressure on mobile networks, international gateways, fibre-optic backbones and internet exchange infrastructure.

2.3 International evidence: meaningful connectivity

The International Telecommunication Union (ITU), in its Facts and Figures 2025 report, emphasizes that internet access must be evaluated through affordability, speed, reliability, digital skills and actual usage. The report estimates that approximately six billion people were online in 2025, while 2.2 billion remained offline. It also identifies significant differences in connectivity between urban and rural populations and between income groups. For Pakistan, this suggests that increasing the number of broadband subscriptions should be accompanied by policies that enable citizens to use internet services meaningfully.

2.4 Mobile internet and the digital divide

The GSMA's State of Mobile Internet Connectivity 2025 report identifies Pakistan among the countries with a substantial mobile internet usage gap.

Its 2024 estimates identify approximately 130 million people in Pakistan within the mobile internet usage gap. This refers to people who are not using mobile internet despite living within the footprint of a mobile broadband network; it is not the same as the number of people without network coverage.

Overview Report

The GSMA's Mobile Gender Gap Report 2025 further identifies smartphone ownership, digital literacy and social barriers as important factors affecting women's internet adoption in Pakistan.

The Mobile Gender Gap Report 2025

Therefore, infrastructure expansion must be combined with digital inclusion programmes.

2.5 Fibre-optic infrastructure and fixed broadband

Fibre-optic networks provide the underlying transmission capacity required for modern telecommunications.

They support:

- Mobile tower backhaul.
- Fixed broadband connections.
- Data-centre interconnections.
- International gateway connections.
- Government and institutional networks.
- 5G network densification.
- High-capacity enterprise connectivity.

The World Bank's 2025 Pakistan Development Update identifies weaknesses in fibre infrastructure, right-of-way arrangements and the concentration of national backbone infrastructure as significant issues. It also reports that Pakistan's average fixed broadband speed was approximately 16 Mbps and average mobile broadband speed approximately 20 Mbps in the 2024 comparison used in the report. These are historical comparative indicators, not current November 2026 speed measurements.

The World Bank Docs

2.6 Pakistan's policy and regulatory framework

Pakistan has developed several relevant policy instruments, including:

- Telecommunications Policy 2015.
- Digital Pakistan Policy 2018.

- National Broadband Policy 2021.
- National Cyber Security Policy 2021.
- Pakistan Cloud First Policy 2022.
- 5G Strategic Plan and Policy Guidelines.
- Telecom Infrastructure Sharing Framework.
- National Artificial Intelligence Policy 2025.

The Ministry's policy repository lists these instruments, with some broadband and 5G documents still marked as drafts. This distinction is important when developing new policy recommendations: proposed initiatives should be aligned with the actual approval status of existing policies.

Ministry of IT & Telecommunication

The National Artificial Intelligence Policy, approved in July 2025, also strengthens the case for developing reliable broadband and cloud infrastructure to support AI adoption.

Ministry of IT & Telecommunication

2.7 Research gap

Existing research discusses Pakistan's digital transformation, broadband adoption, internet affordability, 5G readiness and digital inclusion.

However, a national planning framework must bring these elements together through a single capacity model.

This paper addresses that requirement by combining:

1. Historical broadband and traffic indicators.
2. Future traffic scenarios.
3. National and international network capacity.
4. Urban and rural service targets.
5. Fibre-optic infrastructure requirements.
6. 5G deployment priorities.
7. Digital inclusion and affordability.
8. Institutional and regulatory implementation.

3. Research methodology

3.1 Research design

This research adopts a quantitative and qualitative secondary-data methodology.

The quantitative component examines historical broadband adoption and annual data traffic to estimate future national internet demand.

The qualitative component evaluates infrastructure, regulatory frameworks, international best practices and digital inclusion challenges.

The study is designed as a national telecommunications planning and policy assessment.

3.2 Data sources

The following sources form the research foundation:

Source	Information used
Pakistan Telecommunication Authority	Telecom subscriptions, broadband and network indicators
Pakistan Economic Survey 2024–25	Historical broadband and data traffic
Ministry of IT & Telecom	National policies and strategic framework
International Telecommunication Union	Global connectivity benchmarks

GSMA	Mobile internet adoption and digital divide
World Bank	Broadband infrastructure and affordability
Asian Development Bank	Digital ecosystem assessment
Government of Pakistan	Spectrum auctions and international connectivity

3.3 Traffic forecasting model

The study applies a compound annual growth rate (CAGR) scenario model.

The formula is:

$$D_t=D_0(1+g)^n$$

Where:

- D_t = Projected annual data consumption.
- D_0 = Baseline annual data consumption.
- g = Assumed annual traffic growth.
- n = Number of years.

The baseline is:

$$D_0=27,897\ PB$$

Two growth scenarios are considered:

- Scenario A: 15% annual growth.
- Scenario B: 20% annual growth.

These growth rates are analytical assumptions, not official PTA or government forecasts.

3.4 Average network capacity calculation

Annual traffic can be translated into average network throughput using:

$$C_{\text{avg}}=\frac{D\times8}{T}$$

Where:

- D = Annual data volume in bits.
- T = Number of seconds in a year.
- C_{avg} = Average throughput.

For the 2030 scenario, the estimated average nationwide traffic load is approximately 14–18 Tbps.

3.5 Peak capacity estimation

Telecommunications networks experience higher traffic during peak periods.

For planning purposes, the paper assumes a peak-to-average multiplier of 3–5.

$$C_{\text{peak}}=C_{\text{avg}}\times P$$

Where P is the assumed peak multiplier.

This produces an indicative 2030 peak traffic requirement of approximately 45–90 Tbps.

This is a planning scenario, not a measured capacity shortage or a requirement that every international gateway must independently carry the entire peak load.

3.6 Limitations

The research has several limitations:

1. Historical PTA data and subsequent government statements use different reporting dates and definitions.
2. Subscriber counts do not necessarily represent unique individuals.
3. Actual traffic growth will depend on tariffs, devices, economic conditions and digital adoption.
4. Traffic is unevenly distributed across cities, districts and time periods.

5. International bandwidth capacity is not equivalent to actual usable consumer throughput.
6. The research does not include confidential operator-level traffic engineering data.

Accordingly, the proposed capacity targets should be validated through a detailed national operator and regulator data exercise before final investment decisions.

4. Results and analysis

4.1 Current state of Pakistan's internet infrastructure

The research identifies three important findings.

Finding 1: Rapid growth in broadband demand.

Pakistan's annual data consumption increased from 12,572 PB in FY2020–21 to an estimated 27,897 PB in FY2024–25. This demonstrates increasing demand for high-capacity telecommunications infrastructure.

Finding 2: Mobile broadband dominates connectivity.

The digital ecosystem diagnostic published by the Asian Development Bank in 2025, using PTA's 2024 data, reported approximately 138.7 million mobile broadband subscriptions against 3.6 million fixed broadband subscriptions. This indicates the importance of mobile networks, but also highlights the relatively small fixed broadband market.

Finding 3: Coverage does not guarantee meaningful usage.

The GSMA's estimate of approximately 130 million people in Pakistan's mobile internet usage gap indicates that network availability alone does not ensure internet adoption. Device affordability, digital skills and awareness must also be addressed.

4.2 Projected national internet demand through 2030

Using the methodology described above, the study produces the following projections.

Year	15% growth scenario	20% growth scenario
2025 baseline	27.90 EB	27.90 EB
2026	32.08 EB	33.48 EB
2027	36.89 EB	40.18 EB
2028	42.43 EB	48.22 EB
2029	48.79 EB	57.86 EB
2030	56.11 EB	69.43 EB

Pakistan's projected annual internet demand, 2025–2030

Two illustrative traffic-growth scenarios, in exabytes (EB).

15% annual growth20% annual growth

15 EB30 EB45 EB60 EB75 EB2025202620272028202920 30

Central planning recommendation

Pakistan should use approximately 70 exabytes of annual data traffic as an indicative 2030 high-growth planning scenario, subject to annual revision using actual PTA traffic data.

4.3 National network capacity requirements

The projected demand can be converted into indicative infrastructure capacity requirements.

Capacity indicator	Proposed 2030 planning range
Annual data consumption	56–70 EB
Average national traffic	14–18 Tbps
Peak national traffic	45–90 Tbps

National backbone	Multi-terabit, redundant
International connectivity	Multiple diverse cable systems and gateways
Major city transmission	400G/800G optical systems, scalable
Network availability target	99.9% or higher

An important distinction must be made between national backbone capacity, international gateway capacity and end-user access network capacity. These are interconnected but cannot be treated as identical quantities.

The government should commission a national network-capacity audit to establish the exact required investment and geographical distribution.

4.4 International connectivity requirements

International submarine cables are essential to Pakistan's access to global internet services, cloud platforms, international data centres and digital commerce.

In November 2025, the Government of Pakistan announced the deployment of SEA-ME-WE 6. The official announcement stated that Pakistan had been allocated 13.2 Tbps of capacity, with 4 Tbps to be activated immediately.

The announcement also identified the cable's role in improving international resilience and supporting cloud services, fintech and data centres.

Pakistan Investment Destination

The 2Africa submarine cable project is another important development in Pakistan's international connectivity landscape.

Pakistan Investment Destination

The proposed national strategy should therefore prioritize:

- Multiple submarine cable routes.
- Geographical diversity of landing stations.
- Independent international gateways.
- Automatic failover arrangements.
- Increased capacity at international exchange points.
- Better domestic internet exchange and local content delivery.
- Disaster recovery and international route redundancy.

4.5 Transition from 4G to 5G

Pakistan completed a major 5G spectrum auction in March 2026.

According to the Associated Press of Pakistan, the auction allocation stage offered 597.2 MHz across six frequency bands, with 480 MHz sold to participating operators. The operators included Jazz, Ufone and Zong.

Associated Press of Pakistan+1

The National Assembly's February 2026 briefing also highlighted the need for increased fibre connectivity to mobile towers ahead of 5G rollout.

National Assembly of Pakistan

The following deployment framework is proposed:

Network generation	Recommended national role
4G	Nationwide foundation for mobile broadband
5G	High-capacity connectivity in cities, industrial areas and major economic corridors

Fibre	Primary backbone and mobile backhaul
Fixed wireless	Alternative broadband for locations without economical fibre access
Satellite	Connectivity for remote and geographically challenging areas
6G	Research, testing and future technology preparation

5G should complement, rather than replace, 4G and fibre infrastructure.

4.6 Proposed broadband service standards

The following are recommended national policy targets for 2030.

Service category	Proposed minimum download target
Basic rural broadband	25 Mbps
Standard household broadband	50 Mbps
Advanced household broadband	100 Mbps
Urban high-speed broadband	100–500 Mbps
Business broadband	500 Mbps–1 Gbps
Enterprise and data centres	1 Gbps and above

These are proposed service targets. Actual packages, minimum guaranteed speeds and quality-of-service obligations should be developed by PTA through consultation with operators and consumers.

4.7 Rural and underserved connectivity

A major national priority should be expanding connectivity beyond metropolitan centres.

Areas requiring particular attention include:

- Rural districts of Balochistan.
- Southern Punjab.
- Interior Sindh.
- Remote districts of Khyber Pakhtunkhwa.
- Gilgit-Baltistan.
- Azad Jammu and Kashmir.
- Mountainous and geographically isolated communities.

A combination of fibre-optic backhaul, 4G, 5G fixed wireless and satellite connectivity should be used according to geographical and economic feasibility.

The Universal Service Fund should play an important role in extending connectivity to commercially underserved locations.

4.8 Gender and social inclusion

Digital connectivity should be treated as a social and economic development priority.

The GSMA's 2025 research highlights barriers affecting women's mobile internet adoption, including personal smartphone ownership, digital skills and social constraints.

The Mobile Gender Gap Report 2025

The proposed strategy should include:

1. Affordable smartphones for low-income households.
2. Digital literacy programmes for women and girls.
3. Community internet centres.
4. Accessible public digital services.
5. Urdu and regional-language digital content.
6. Rural educational connectivity.

7. Disability-inclusive digital services.

4.9 National digital infrastructure investment priorities

The study recommends concentrating investment in the following areas:

Proposed national investment framework

Fibre-optic backbone

Priority 1

National transmission routes, district connectivity, tower backhaul and fibre-to-the-home expansion.

5G and mobile networks

Spectrum utilization, new radio infrastructure, site densification and improved service quality.

International connectivity

Submarine cable diversity, international gateways and internet exchange infrastructure.

Data centres and cloud

National cloud infrastructure, disaster recovery, AI computing and local hosting.

Cybersecurity and resilience

Network monitoring, DDoS protection, redundancy and disaster response.

Digital inclusion

Affordable devices, rural connectivity, education and digital skills development.

5. Proposed National Digital Connectivity Programme 2030

5.1 Strategic vision

The proposed programme should establish a nationwide digital connectivity ecosystem capable of supporting Pakistan's growing population, businesses, educational institutions, government services and emerging technology industries.

The strategic vision is:

"Affordable, reliable, secure and high-capacity digital connectivity for every citizen, institution and business in Pakistan by 2030."

5.2 Strategic pillars

The programme should be based on eight pillars:

Pillar	Strategic objective
1. National fibre backbone	Expand high-capacity transmission
2. 5G deployment	Improve mobile broadband capacity
3. Universal broadband	Connect underserved populations
4. International connectivity	Improve resilience and bandwidth
5. Cloud and data centres	Support local digital infrastructure
6. Affordability	Improve access for low-income users
7. Cybersecurity	Protect national digital infrastructure
8. Innovation and research	Prepare for AI and 6G

5.3 Institutional responsibilities

A coordinated national governance model is necessary.

Institution	Proposed responsibility
Ministry of IT & Telecom	National policy coordination and strategic oversight
Parliamentary Secretary	Parliamentary engagement, policy coordination and oversight support

PTA	Licensing, spectrum, QoS regulation and consumer protection
Universal Service Fund	Rural and underserved connectivity
Telecom operators	Network investment and service delivery
NTC	Government telecommunications connectivity
Provincial governments	Right-of-way coordination and local infrastructure facilitation
Private investors	Fibre, data centres and digital infrastructure investment
Universities and research institutions	Telecommunications research and technical capacity building

The Parliamentary Secretary's office can help facilitate intergovernmental coordination, parliamentary review, stakeholder consultation and progress monitoring, within the applicable constitutional and administrative responsibilities.

5.4 Implementation roadmap

2026–2030 implementation phases

1. Phase I: 2026–2027 - Assessment and foundation
    - National network-capacity audit.
    - District-level broadband mapping.
    - Fibre backbone gap assessment.
    - 5G deployment and spectrum utilization monitoring.
    - Infrastructure-sharing reforms.
2. Phase II: 2027–2028 - Infrastructure expansion
    - Expand fibre connections.
    - Improve international cable redundancy.
    - Increase rural 4G coverage.
    - Expand urban 5G.
    - Improve local data-centre infrastructure.
3. Phase III: 2028–2029 - Digital integration
    - Connect educational and healthcare institutions.
    - Expand enterprise broadband.
    - Strengthen cloud and AI infrastructure.
    - Implement national network resilience measures.
4. Phase IV: 2029–2030 - Capacity and performance
    - Evaluate national traffic requirements.
    - Expand peak-hour network capacity.
    - Assess 6G research readiness.
    - Review universal connectivity progress.
    - Publish a national performance assessment.

5.5 Proposed performance indicators

To ensure accountability, the programme should publish an annual national connectivity scorecard.

KPI	Proposed 2030 target
Population covered by 4G	At least 95%

Population covered by 5G	70–80%
Rural standard broadband	At least 25 Mbps
Urban household broadband	100 Mbps or higher
National annual data traffic planning capacity	70 EB
Network availability	99.9% or higher
Major backbone redundancy	Multiple independent routes
Broadband affordability	Progressive reduction in cost burden
Rural connectivity	Annual measurable improvement
Cybersecurity	National monitoring and incident response

The indicators should be independently verified using PTA measurements, operator reporting and consumer experience surveys.

5.6 Policy and regulatory recommendations

The following policy interventions are recommended:

A. Fibre-optic infrastructure

- Simplify right-of-way permissions.
- Establish common infrastructure deployment standards.
- Encourage infrastructure sharing.
- Promote competitive wholesale fibre access.
- Incentivize fibre-to-the-home deployment.

B. Spectrum and 5G

- Ensure efficient utilization of auctioned spectrum.
- Monitor operator coverage commitments.
- Promote network sharing where appropriate.
- Establish measurable 5G quality-of-service standards.
- Encourage investment in rural and secondary-city networks.

C. International connectivity

- Encourage diversified submarine cable systems.
- Improve international gateway resilience.
- Strengthen local internet exchange arrangements.
- Develop emergency routing and restoration procedures.

D. Affordability and inclusion

- Promote entry-level broadband packages.
- Facilitate affordable internet-enabled devices.
- Expand digital literacy.
- Improve access for women, rural communities and persons with disabilities.

E. Cybersecurity and continuity

- Strengthen national network monitoring.
- Establish incident reporting mechanisms.
- Improve disaster recovery.
- Promote transparent network availability reporting.
- Protect critical digital infrastructure.

6. Discussion

The findings demonstrate that Pakistan's digital transformation requires a coordinated infrastructure strategy rather than an isolated transition from 4G to 5G. The introduction of 5G will increase mobile network capacity, but its benefits will depend on the availability of fibre-optic backhaul, adequate power infrastructure, sufficient spectrum and commercially sustainable deployment. Similarly, expanding international bandwidth will not automatically resolve domestic connectivity problems if national backbone networks, local distribution infrastructure and internet exchange facilities remain inadequate.

The research also identifies digital inclusion as a central policy consideration. A large population may live within mobile broadband coverage but remain unable to access internet services because of affordability, device ownership and digital literacy barriers.

Therefore, national investment should balance three objectives:

1. Infrastructure development: Increase network capacity, coverage and reliability.
2. Economic accessibility: Make broadband affordable for households and businesses.
3. Digital participation: Ensure that citizens can use connectivity for education, employment, healthcare and economic activity.

The government should adopt a performance-based approach in which public investment, private-sector participation and regulatory reforms are linked to measurable connectivity outcomes.

7. Conclusion

Pakistan is entering an important phase of telecommunications development. The increasing use of digital financial services, online education, e-commerce, cloud computing, artificial intelligence and digital public services is transforming the country's internet requirements. The research indicates that annual data consumption could increase from approximately 27.9 exabytes in FY2024–25 to approximately 56–69 exabytes by 2030 under the two modelled growth scenarios.

This growth requires a comprehensive national infrastructure strategy incorporating fibre-optic connectivity, 5G networks, international bandwidth, data centres, cybersecurity and universal broadband access. The study concludes that the development of 5G should not be considered an independent telecommunications objective. Rather, it should form part of an integrated national digital infrastructure programme supported by fibre-optic expansion, affordable devices, rural broadband, competitive markets and improved network resilience. The proposed National Digital Connectivity Programme 2030 provides a framework for coordinating government institutions, regulators, telecom operators, investors and research institutions.

The Ministry of Information Technology and Telecommunication, in collaboration with PTA, USF, provincial governments and private-sector stakeholders, should consider establishing a national monitoring mechanism to evaluate annual infrastructure expansion and service quality. Particular attention should be given to underserved districts, women, low-income households, educational institutions and small businesses. Ultimately, Pakistan's digital competitiveness will depend not merely on the speed of its mobile networks but on the accessibility, affordability, reliability, security and capacity of its entire telecommunications ecosystem.

A digitally connected Pakistan by 2030 must be built on strong national infrastructure, inclusive policies, sustainable investment and measurable improvements in the everyday internet experience of its citizens.

8. Policy recommendations for consideration

The following recommendations are proposed for consideration by the Ministry and the Parliamentary Secretary's office.

1. Establish a National Digital Connectivity Programme 2030.
2. Commission a nationwide telecommunications capacity and infrastructure audit.
3. Develop a district-level broadband coverage and quality dashboard.
4. Establish a national fibre-optic expansion and sharing programme.
5. Monitor the phased implementation of 5G spectrum commitments.
6. Strengthen international submarine cable diversity and redundancy.
7. Improve fixed broadband penetration through competitive investment.
8. Expand USF-supported connectivity in rural and underserved communities.
9. Develop affordable device and digital literacy initiatives.
10. Establish annual national internet capacity and service quality reporting.
11. Strengthen local data centres, cloud services and AI infrastructure.
12. Establish a national research programme for future 6G readiness.

9. References and bibliography

The following references provide the documentary foundation for this paper. They include official Pakistani government publications and international research.

1. Government of Pakistan, Finance Division. (2025). Pakistan Economic Survey 2024–25, Chapter 15: Information Technology and Telecommunication. Read Pakistan Economic Survey 2024–25.

2. Pakistan Telecommunication Authority. (2025). Annual Report 2024–25. PTA Annual Report announcement.

3. Ministry of Information Technology and Telecommunication. (2026). Official Policies and Strategic Frameworks. Ministry policy repository.

4. World Bank. (2025). Pakistan Development Update: Reimagining a Digital Pakistan. Read World Bank report.

5. Asian Development Bank. (2025). Pakistan's Digital Ecosystem: A Diagnostic Report. Read ADB report.

6. International Telecommunication Union. (2025). Facts and Figures 2025: Global Connectivity and Digital Divides. Read ITU report.

7. GSMA. (2025). The State of Mobile Internet Connectivity 2025. Read GSMA report.

8. GSMA. (2025). The Mobile Gender Gap Report 2025. Read GSMA report.

9. Government of Pakistan, Press Information Department. (2025). Pakistan Strengthens Global Digital Connectivity with SEA-ME-WE 6 Submarine Cable System. Read official announcement.

10. Government of Pakistan, Press Information Department. (2024). Pakistan Advances International Connectivity with the 2Africa Submarine Cable System. Read official announcement.

11. Associated Press of Pakistan. (2026). PTA Successfully Concludes Allocation Stage of NGMS/5G Spectrum Auction. Read auction announcement.

12. National Assembly of Pakistan. (2026). Standing Committee on Information Technology and Telecommunication: 5G Spectrum Auction Briefing. Read National Assembly briefing.

13. Government of Pakistan. (2026). Message of the President on World Telecommunication and Information Society Day. Read government statement.
14. Information Technology and Innovation Foundation. (2025). Disconnected Progress: The Hidden Price of Internet Restrictions in Pakistan. Read research paper.
15. Mahbub ul Haq Research Centre, LUMS. (2025). Pakistan's Digital Dilemma: The True Cost of Internet Shutdowns. Read research study.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SPATIAL ANALYSIS OF BIODIVERSITY HOTSPOTS USING QGIS AND REMOTE SENSING DATA IN BONNY LOCAL GOVERNMENT AREA, RIVERS STATE, In Niger Delta

ALHASSAN GABI USMAN
Department of Biology Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, , Nigeria,
ABDULLAHI GABI MUHAMMAD
Department of Biotechnology, Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, Nigeria,

Abstract
Bonny Local Government Area of Rivers State, Nigeria, is an ecologically important part of the Niger Delta, characterized by mangrove forests, freshwater swamp forests, wetlands, creeks, and other coastal ecosystems that support diverse plant and animal species. However, these ecosystems are increasingly threatened by land-use change, oil and gas activities, urban expansion, deforestation, agricultural activities, and habitat fragmentation. This study applied spatial analysis using QGIS integrated with multi-temporal remote sensing data to identify and map areas of high ecological importance within Bonny Local Government Area. Annual Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data from 2000–2025 were used to assess vegetation productivity and ecosystem condition, while spatial hotspot analysis was employed to identify areas with relatively high vegetation and habitat importance. The analysis revealed distinct clusters of high NDVI values associated with mangrove forests, freshwater swamp forests, and other relatively undisturbed vegetation areas, indicating locations of potential biodiversity importance. Conversely, areas with persistently low NDVI values were associated with built-up areas, industrial activities, agricultural land, and other disturbed landscapes, suggesting vegetation degradation and habitat fragmentation. The study demonstrates the usefulness of QGIS and remote sensing techniques for spatial assessment and monitoring of vegetation and potential biodiversity hotspots in Bonny Local Government Area. The findings provide spatial information that can support conservation planning, environmental monitoring, habitat management, and sustainable land-use planning in the study area. Further integration of higher-resolution satellite imagery and field-based biodiversity surveys is recommended to validate the identified hotspots and improve long-term biodiversity monitoring.
Keywords*: Biodiversity hotspots, Bonny Local Government Area, Rivers State, Niger Delta, NDVI, remote sensing, QGIS, spatial analysis, habitat fragmentation, conservation planning.*

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE ROLE OF GIS IN ENVIRONMENTAL DISASTER MANAGEMENT AND MATIGATION.

ALHASSAN GABI USMAN
Department of Biology Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, , Nigeria,
ABDULLAHI GABI MUHAMMAD
Department of Biotechnology, Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, Nigeria,

ABSTRACT
Environmental disasters, both natural and anthropogenic, continue to pose significant threats to human life, infrastructure, and ecosystems worldwide. The increasing frequency and intensity of hazards such as floods, earthquakes, landslides, oil spills, wildfires, and industrial accidents highlight the urgent need for effective disaster management and mitigation strategies. Geographic Information Systems (GIS) have emerged as a powerful decision-support tool for integrating, analyzing, and visualizing spatial and non-spatial data related to disaster risk, vulnerability, and response planning. This paper examines the role of GIS across the key phases of environmental disaster management—risk assessment, preparedness, mitigation, response, and recovery. It highlights how GIS supports hazard mapping, exposure and vulnerability analysis, early-warning systems, evacuation planning, damage assessment, and post-disaster rehabilitation. The integration of GIS with remote sensing, Global Positioning Systems (GPS), and real-time data sources is also discussed as a means of enhancing situational awareness and improving rapid decision-making during emergencies. Furthermore, the paper explores the application of GIS in managing man-made environmental disasters, including pollution incidents, deforestation, and urban industrial hazards. Despite its proven effectiveness, challenges such as data availability, technical capacity, and institutional coordination remain constraints to optimal GIS utilization, particularly in developing countries. The study concludes that strengthening GIS-based frameworks and capacity building is critical for sustainable environmental disaster management and long-term mitigation planning.
Keywords: GIS, geographic information systems, disaster management, mitigation.

1 INTRODUCTION
Environmental disasters are events that disrupt the normal functioning of communities and ecosystems and result in substantial human, economic or environmental losses. They may be associated with natural processes, such as intense rainfall, drought, earthquakes and landslides, or with human activities, including industrial pollution, oil spills, deforestation and unsafe land development. Although a hazard does not automatically become a disaster, its consequences can be severe when people, infrastructure and valuable ecosystems are exposed and vulnerable.

The growing complexity of settlements, infrastructure networks and environmental pressures makes disaster management dependent on timely and reliable information. Decision-makers need to know where hazards may occur, which people and assets are exposed, how accessible affected locations are and what resources are available. Geographic Information Systems (GIS) support these tasks by linking information to geographic locations and allowing users to examine spatial relationships, patterns and changes. GIS developed from the convergence of cartography, geography, computer science and spatial analysis, and has become an important tool for organising and interpreting geographic information (Coppock & Rhind, 1991; Maguire, 1991).

In disaster management, GIS can bring together topography, land use, drainage networks, population distribution, infrastructure, historical hazard records and satellite observations. These datasets can be analysed to identify areas of high risk and to support planning before an event, operational decisions during an emergency and rehabilitation after the event. When integrated with remote sensing and positioning technologies, GIS can also provide updated information about changing environmental conditions and the location of affected communities (Joyce et al., 2009; Khan, 2015).

This paper examines how GIS contributes to environmental disaster management and mitigation. It

considers major application areas, outlines the strengths and limitations of the technology and discusses measures that can improve its use in disaster-prone and data-constrained regions.

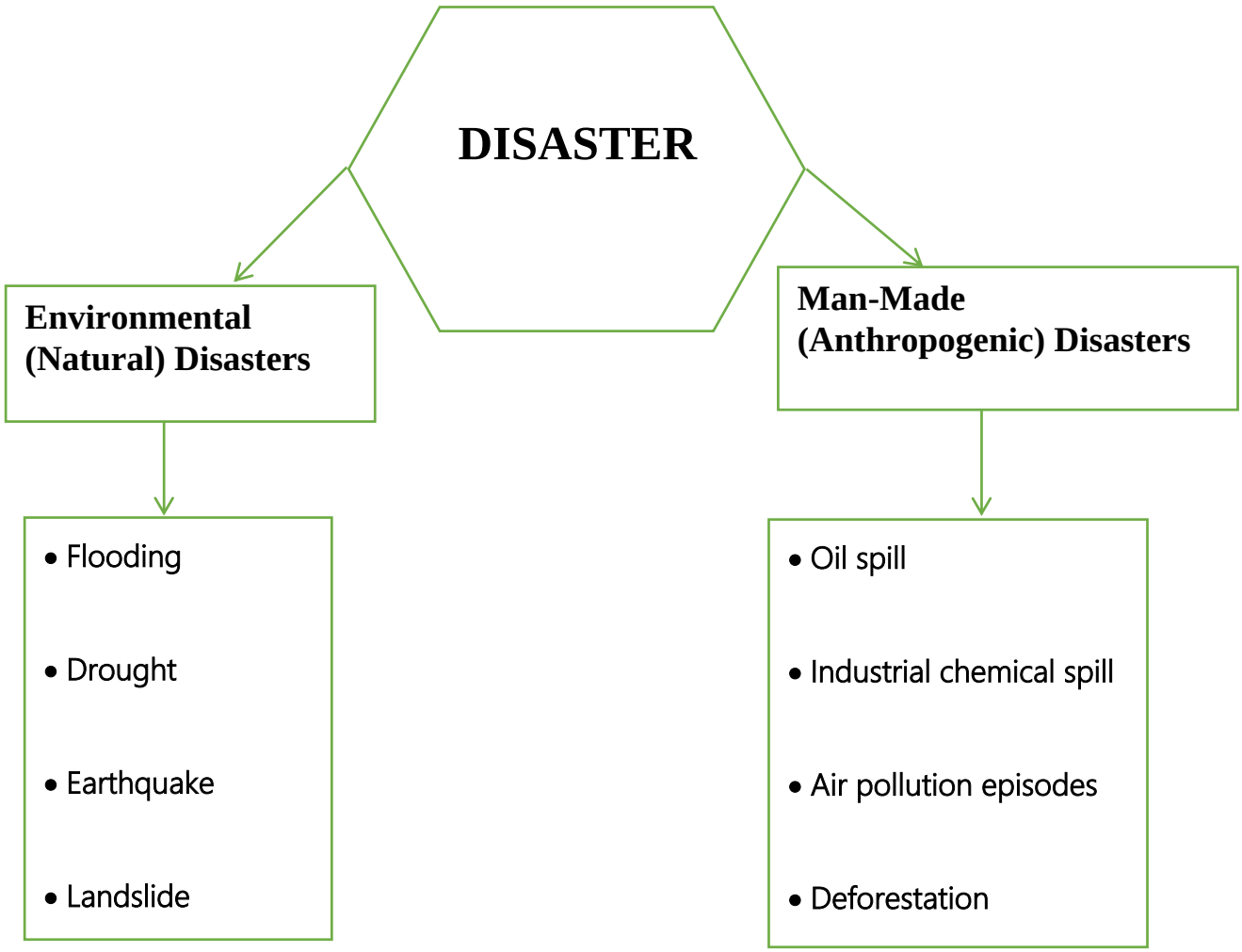


Fig 1: Classification Of Disasters

2. CONCEPTUAL OVERVIEW OF GIS AND ENVIRONMENTAL DISASTERS

2.1 Geographic Information Systems

A Geographic Information System is a computer-based framework for capturing, storing, managing, analysing and displaying information linked to locations on the Earth's surface. Unlike a conventional database, GIS allows attributes to be examined in relation to their geographic position. It can therefore answer questions such as where a hazard is likely to occur, which settlements lie within an exposed zone and how land-cover conditions differ between locations (Maguire, 1991). (Tomaszewski, 2020).

A functioning GIS commonly depends on five connected components: hardware, software, geographic data, people and methods. Hardware includes computers, servers and field devices; software provides tools for data management and spatial analysis; data include maps, satellite imagery, coordinates and attribute records; people collect, maintain and interpret information; and methods provide the procedures used to analyse and communicate results. The quality of the output depends on the suitability, accuracy, currency and scale of the input data.

2.2 Categories of environmental disasters

Environmental hazards are often grouped according to their principal origin. The categories overlap in some situations: for example, land-use change can increase the effects of heavy rainfall, while climate-related conditions can intensify wildfire risk. The classification below is therefore a practical guide rather than an absolute division.

Category	Examples	Potential GIS contribution
Hydrological	River and flash floods, coastal flooding, storm surge	Flood extent and depth mapping; drainage and watershed analysis; exposure mapping
Climatological	Drought, heat waves, desertification, wildfires	Drought and vegetation-condition monitoring; fire-risk modelling; climate analysis
Geological	Earthquakes, landslides, volcanic activity	Susceptibility mapping; terrain analysis; fault and infrastructure mapping
Environmental pollution	Oil spills, contaminated soil, water and air	Pollution hotspot mapping; spatial interpolation; exposure and ecological-risk assessment
Land degradation	Deforestation, soil erosion, wetland and shoreline loss	Land-cover change detection; erosion assessment; habitat fragmentation analysis
Biological and ecological	Pest outbreaks, invasive species, vector-borne disease	Disease and species-distribution mapping; environmental suitability analysis
Human-induced / technological	Industrial chemical releases, mining accidents, nuclear incidents	Facility-location analysis; emergency buffers; plume and exposure mapping

.

3. Review Approach

This paper adopts a narrative review approach. It draws on published studies concerning GIS, remote sensing and disaster risk management, together with relevant institutional guidance on disaster risk reduction. The literature is discussed thematically, focusing on the contribution of geospatial information across the disaster management cycle and on practical constraints affecting implementation. No new field survey, interview exercise, or original GIS modelling was undertaken for this paper. Consequently, the discussion synthesises existing knowledge rather than presenting primary empirical findings. A future systematic review could strengthen reproducibility by specifying databases, search strings, date limits, screening criteria and a formal study-selection procedure.

4. GIS In The Disaster Management Cycle

Disaster risk management includes measures intended to prevent new risks, reduce existing risks and manage risks that cannot be eliminated. It involves connected activities before, during and after hazardous events, rather than a rigid sequence of isolated stages (United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2017). GIS can support each stage by providing a shared spatial picture of hazards, exposure, vulnerability and response capacity.



Fig: 2 GIS In The Disaster Management Cycle

4.1 Risk assessment and preparedness

Risk assessment involves identifying hazards and examining the people, infrastructure, livelihoods and ecosystems that may be affected. GIS enables the overlay of hazard information with population data, settlement locations, roads, schools, hospitals, water facilities and land-cover maps. The resulting analysis can help identify exposed communities and critical facilities, compare levels of vulnerability and prioritise areas for further investigation. For example, a flood-risk assessment may combine elevation, slope, rainfall, drainage density, soil characteristics and land use. The resulting map should be interpreted alongside local knowledge and, where possible, validated using observed flood records. GIS also contributes to preparedness by supporting evacuation-route design, the location of temporary shelters, the distribution of emergency supplies and the identification of facilities requiring protection. Network analysis can help assess route accessibility and identify alternative routes where bridges or roads may become impassable. Maps and dashboards can communicate risk information to emergency agencies and communities. Crowdsourced geographic information may provide additional observations during emergencies, although its reliability and positional accuracy need to be checked (Goodchild & Glennon, 2010; Tzavella et al., 2024).

4.2 Mitigation and prevention

Mitigation refers to measures that reduce the adverse impacts of hazards. GIS supports mitigation by showing where development should be restricted, where protective infrastructure may be required and which ecosystems provide natural protection. In flood-prone areas, for example, GIS-based analysis can identify floodplains, drainage bottlenecks and settlements located in low-lying terrain. This information can guide land-use planning, drainage improvement, floodplain protection and the siting of essential infrastructure. Remote sensing provides repeated observations of land cover, vegetation, surface water and changes in the built environment. These observations can reveal deforestation, wetland conversion, shoreline movement and settlement expansion that may increase environmental risk. Digital elevation models and satellite-derived information are also useful in mapping terrain and monitoring hazards such as landslides and floods (Joyce et al., 2009; Khan, 2015). However, remote sensing products must be selected according to the hazard, spatial resolution, acquisition date and local conditions.

4.3 Emergency response and situational awareness

During an emergency, response agencies require timely information on the location and extent of the event, affected populations, accessible routes and available resources. GIS can integrate field reports, satellite images, weather information, sensor readings and reports from response teams into operational maps. These maps can assist the allocation of rescue teams, medical services, food, water and temporary shelter. Where communication networks are disrupted, pre-prepared maps and offline geospatial datasets may remain useful. For flood events, synthetic aperture radar imagery is particularly valuable because it can observe the Earth's surface through cloud cover and at night. Optical imagery can provide complementary information on land cover and visible damage when cloud conditions permit. The combination of satellite observations, elevation data and field reports can improve the delineation of inundated areas and support evacuation and logistics decisions (Amatebelle et al., 2025).

4.4 Damage assessment, recovery and rehabilitation

After a disaster, GIS can support the comparison of pre-event and post-event information to estimate the location and extent of damage. Satellite imagery, aerial photographs, field surveys and infrastructure databases can be combined to identify affected buildings, roads, farmland, water bodies and other assets. Such assessments help authorities prioritise repair work, direct relief materials and monitor the progress of recovery. GIS can also contribute to longer-term recovery by documenting changes in land use, identifying locations where rebuilding may recreate previous risks and supporting the selection of safer sites for housing and infrastructure. The quality of these decisions depends on transparent data, clear criteria and the involvement of affected communities. Spatial information should support, rather than replace, local consultation and professional judgment.

5. APPLICATIONS OF GIS TO SELECTED DISASTER TYPES

5.1 Flood disaster management

Floods are among the most damaging environmental hazards because they can affect settlements, transport routes, agricultural land, water supplies and natural habitats. GIS-based flood analysis commonly combines digital elevation models, rainfall records, river networks, soil information, drainage characteristics and land-use data. These layers can be used to delineate flood-prone areas, identify exposed assets and assess how changes in land cover may influence runoff. Flood-risk maps are most useful when hazard, exposure and vulnerability are considered together rather than treating low elevation alone as a complete measure of risk (Merz et al., 2007; de Moel et al., 2015). GIS-based susceptibility modelling can also combine multiple conditioning factors to distinguish areas with different levels of flood susceptibility (Tehrany et al., 2014).

Satellite observations can help monitor the extent and duration of inundation, while GIS provides the environment for integrating those observations with population and infrastructure information. Recent review evidence also shows the expanding use of remote sensing and GIS in flood hazard mapping, prediction and impact assessment, while highlighting the need for stronger application and research capacity in Africa (Amatebelle et al., 2025).

5.2 Earthquake disaster management

Earthquakes occur with little or no warning and may cause building collapse, damage to roads and utilities, landslides and other secondary hazards. GIS can combine fault information, historical earthquake records, ground conditions, building inventories and population distribution to support seismic hazard and vulnerability assessment. These analyses can inform land-use decisions, emergency planning and the prioritisation of vulnerable facilities. For example, GIS and multi-criteria approaches have been used to assess the seismic vulnerability of school buildings in Tehran (Panahi et al., 2014). Following an earthquake, satellite imagery and field observations can be compared with pre-event building and transport datasets to identify damaged areas and communities that may be isolated. GIS-based maps can assist rescue coordination and the planning of temporary services. The reliability of these products depends on rapid data access, suitable image resolution and field verification.

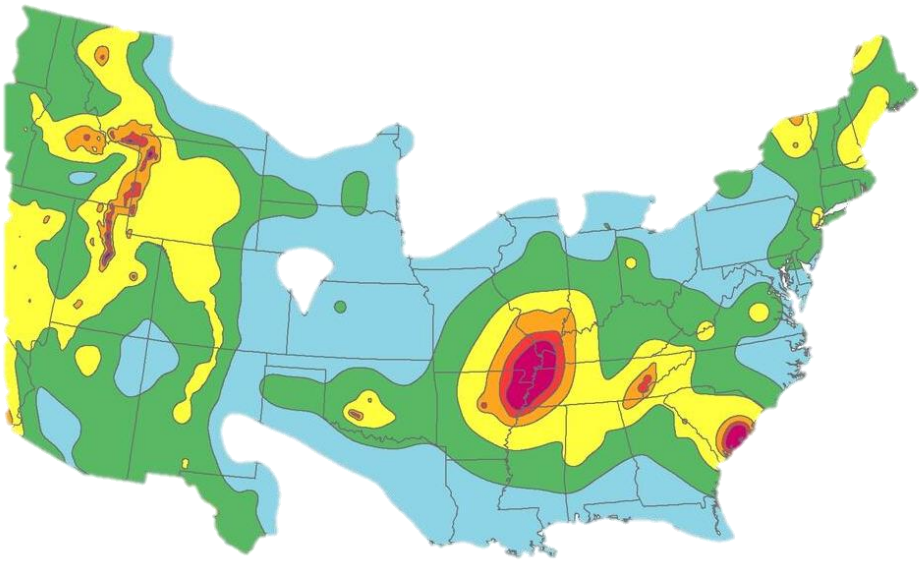


Fig:3 GIS in Earthquake Disaster Management

5.3 Landslides, wildfires and pollution incidents

For landslides, GIS can combine slope, elevation, geology, soil, rainfall, drainage and land-cover information to identify areas with greater susceptibility. Such maps can guide monitoring and land-use planning, but they should not be interpreted as precise predictions of the time or location of an individual landslide. For wildfires, GIS can integrate vegetation condition, fuel characteristics, terrain, weather and settlement locations to support fire-risk assessment, response access and the identification of threatened communities. In pollution incidents, GIS can map the location of industrial facilities, pipelines, mines, water bodies, settlements and sensitive ecosystems. Field measurements can be linked to sampling coordinates and analysed using spatial interpolation to identify possible contamination hotspots. In the case of oil spills, GIS can support the mapping of affected shorelines and sensitive habitats and help prioritise clean-up operations. Field sampling and laboratory analysis remain necessary where pollutant concentrations or health risks must be established.

6. Integration Of GIS With Other Geospatial Technologies

GIS becomes more effective when used with complementary technologies. Remote sensing provides repeated observations over large areas and can be used to detect changes that are difficult to monitor through field surveys alone. Global Navigation Satellite Systems (GNSS), including GPS, provide location information for field observations, infrastructure and emergency teams. Digital elevation models describe terrain and support hydrological and slope analysis. Weather stations, river gauges and other sensors provide measurements that can be linked to geographic locations. The integration of these sources can improve situational awareness, but it also creates a need for consistent coordinate reference systems, compatible data formats, metadata and quality control. Data from different dates, scales and sensors should not be combined without considering their spatial and temporal differences. Geospatial information should also be communicated in formats that are understandable to decision-makers and communities (Li et al., 2022).

7. Challenges Limiting GIS Application

Despite its potential, GIS use in environmental disaster management faces several challenges. First, reliable spatial data may be unavailable, incomplete, outdated or too coarse for local decisions. Second, the purchase and maintenance of equipment, software, data services and computing infrastructure may be difficult for under-resourced agencies. Open-source GIS software and freely available satellite imagery can reduce some costs, but they do not remove the need for trained personnel and reliable data management.

Third, institutional fragmentation can limit the exchange of information among agencies responsible for

environment, land administration, meteorology, emergency response and public health. Different organisations may use incompatible formats or maintain separate databases. Fourth, limited internet access and communication infrastructure can hinder real-time data collection and dissemination, particularly in rural and remote locations. Finally, maps can create a false impression of certainty when uncertainty, data limitations and map scale are not clearly communicated. These constraints are particularly important in developing-country settings, where local data and technical resources may be unevenly distributed. Effective GIS implementation therefore requires institutional cooperation, sustainable funding, training, data-sharing standards, field validation and meaningful community participation.

8. Discussion

The reviewed literature indicates that GIS is not simply a map-production tool; it is a decision-support framework that helps connect hazard information with the people, infrastructure and ecosystems that may be affected. Its contribution extends across prevention, preparedness, response and recovery. The strongest applications occur when spatial analysis is linked to operational procedures and when information is updated as conditions change. The integration of remote sensing, GNSS, terrain data and community-generated observations can broaden the evidence available to decision-makers (Goodchild & Glennon, 2010; Khan, 2015; Li et al., 2022). The availability of GIS software does not automatically produce effective disaster management. An inaccurate flood map, an outdated settlement layer or a poorly communicated risk classification may lead to inappropriate decisions. GIS outputs should therefore be accompanied by information about data sources, acquisition dates, resolution, analytical assumptions and uncertainty. Hazard maps should also be validated with observed events and local knowledge wherever possible.

For Nigeria and other countries facing data and capacity constraints, priority should be given to practical, maintainable systems that address clearly defined planning needs. Universities, government agencies and communities can work together to improve local datasets, document historical events and develop skills in spatial analysis. Recent evidence on flood-related GIS and remote sensing research points to the need for stronger research participation and application in African contexts (Amatebelle et al., 2025).

9. Conclusion And Recommendations

This review has examined the role of Geographic Information Systems in environmental disaster management and mitigation. GIS supports the organisation and analysis of spatial information needed to assess hazards, identify exposed populations and assets, prepare evacuation and response plans, monitor disaster impacts and guide recovery. Its integration with remote sensing, GNSS, digital elevation models and field observations makes it particularly useful for monitoring hazards that vary across space and time. Applications in flood, earthquake, landslide, wildfire and pollution management demonstrate the value of geospatial information for evidence-based decisions.

However, the effectiveness of GIS depends on data quality, technical expertise, institutional cooperation, adequate funding and clear communication of uncertainty. GIS should therefore be treated as part of a wider disaster risk management system rather than as a stand-alone solution.

Government agencies should invest in maintaining accurate, updated and accessible spatial databases for hazards, population, infrastructure and environmental resources.

Disaster management institutions should strengthen staff training in GIS, remote sensing, spatial modelling and geospatial data management.

Relevant agencies should establish data-sharing arrangements and common standards for coordinate systems, metadata, formats and quality assurance.

GIS-based hazard and risk maps should be validated with field observations, historical disaster records and community knowledge before being used for major decisions.

Universities and research institutions should expand applied studies that address locally important hazards and assess the performance of GIS methods under Nigerian conditions.

Risk information should be communicated in clear maps and accessible formats so that communities can understand warnings, evacuation routes and recommended preparedness actions.

REFERENCES

Amatebelle, C. E., Owolabi, S. T., Ogundeji, A. A., & Okolie, C. C. (2025). A systematic analysis of remote sensing and geographic information system applications for flood disaster risk management. Journal of Spatial Science, 70(3), 441–467. https://doi.org/10.1080/14498596.2025.2476973

Coppock, J. T., & Rhind, D. W. (1991). The history of GIS. In D. J. Maguire, M. F. Goodchild, & D. W. Rhind (Eds.), Geographical information systems: Principles and applications (Vol. 1, pp. 21–43). Longman.

de Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., & Ward, P. J. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 20, 865–890. https://doi.org/10.1007/s11027-015-9654-z

Goodchild, M. F., & Glennon, J. A. (2010). Crowdsourcing geographic information for disaster response: A research frontier. International Journal of Digital Earth, 3(3), 231–241. https://doi.org/10.1080/17538941003759255

Joyce, K. E., Belliss, S. E., Samsonov, S. V., McNeill, S. J., & Glassey, P. J. (2009). A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. Progress in Physical Geography, 33(2), 183–207. https://doi.org/10.1177/0309133309339563

Khan, S. N. (2015). Integration of GIS with remote sensing and GPS for disaster mitigation. Journal of Disaster Research, 10(2), 225–230. https://doi.org/10.20965/jdr.2015.p0225

Li, W., Zhu, J., Pirasteh, S., Zhu, Q., Fu, L., Wu, J., Hu, Y., & Dehbi, Y. (2022). Investigations of disaster information representation from a geospatial perspective: Progress, challenges and recommendations. Transactions in GIS, 26(3), 1376–1398. https://doi.org/10.1111/tgis.12922

Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. In D. J. Maguire, M. F. Goodchild, & D. W. Rhind (Eds.), Geographical information systems: Principles and applications (Vol. 1, pp. 9–20). Longman.

Merz, B., Thieken, A. H., & Gocht, M. (2007). Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. In S. Begum, M. J. F. Stive, & J. W. Hall (Eds.), Flood risk management in Europe: Innovation in policy and practice (pp. 231–251). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3_13

Panahi, M., Rezaie, F., & Meshkani, S. A. (2014). Seismic vulnerability assessment of school buildings in Tehran city based on AHP and GIS. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 969–979. https://doi.org/10.5194/nhess-14-969-2014

Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology, 512, 332–343.

Tomaszewski, B. (2020). Geographic information systems (GIS) for disaster management. Routledge.

Tzavella, K., Skopeliti, A., & Fekete, A. (2024). Volunteered geographic information use in crisis, emergency and disaster management: A scoping review and a web atlas. Geo-spatial Information Science, 27(2), 423–454. https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2139642

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). Disaster risk management. In The Sendai Framework terminology on disaster risk reduction. https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk-management

EFFECT OF SOFT TISSUE ON NASAL AIRFLOW DURING RESPIRATORY PROFILE

Zahid Ullah Khan
School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang, China
Zhang Hao
Zhejiang Institute of Photo electronics, China
Wang Hao
School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang, China
Xiaodong Wang
School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang, China

The influence of wall compliance on nasal airflow during breathing remains important for understanding fluid–structure interactions within the human respiratory system. Conventional computational fluid dynamics (CFD) models commonly assume rigid airway walls, potentially overlooking flow modifications caused by soft-tissue deformation. Previous studies have demonstrated that compliant-wall deformation can alter flow structures and pressure distributions (Wang, Koley & Katz 2020; Greidanus et al. 2022; Lu et al. 2025). This study investigates the effect of wall compliance on transient nasal airflow using a coupled fluid–structure interaction (FSI) approach. Three-dimensional simulations are conducted to compare rigid-wall and compliant-wall conditions throughout the breathing cycle. Key parameters include airflow velocity, pressure distribution, wall displacement, pressure drop, and the development of high-velocity jets and recirculation regions. The relationship between tissue deformation and airway resistance is also examined. This work aims to clarify how wall flexibility influences nasal airflow dynamics and to establish the importance of incorporating tissue compliance into numerical assessments of respiratory function.
Keywords: Nasal airflow; wall compliance; fluid–structure interaction; computational fluid dynamics; transient breathing; soft-tissue deformation.

[1] Wang, J., Koley, S. S., & Katz, J. (2020). On the interaction of a compliant wall with a turbulent boundary layer. Journal of Fluid Mechanics, 899, Article A20. https://doi.org/10.1017/jfm.2020.446
[2] Greidanus, A. J., Delfos, R., Picken, S. J., & Westerweel, J. (2022). Response regimes in the fluid–structure interaction of wall turbulence over a compliant coating. Journal of Fluid Mechanics, 952, Article A1. https://doi.org/10.1017/jfm.2022.774
[3] Lu, Y., Xiang, T., Zaki, T. A., & Katz, J. (2025). Analysis of flow-wall deformation coupling in high Reynolds number compliant wall boundary layers. Journal of Fluid Mechanics, 1019, Article A54. https://doi.org/10.1017/jfm.2025.10596

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BUSINESS FEASIBILITY STUDY OF MARIPOSA BAKEHOUSE

Agnes FLORENSIA
President University, Faculty of Business, Department of Management, 17550, Cikarang, Indonesia
ORCID ID: 0000-0003-3704-2303
Sonny V. SUTEDJO, MM
President University, Faculty of Business, Department of Management, 17550, Cikarang, Indonesia
ORCID ID: 0000-0003-3704-2303

ABSTRACT
Mariposa Bakehouse is a premium handmade bakery business concept located in Melawai, Blok M, South Jakarta. The business offers a variety of handmade bakery products, including bread, pastry, cakes, cookies, desserts, and beverages, complemented by an interactive baking class experience. Mariposa Bakehouse targets primarily Generation Z and Millennials who are interested in premium bakery products, aesthetic culinary experiences, and interactive activities. The business combines product quality, attractive presentation, an aesthetic store atmosphere, environmentally friendly packaging, and digital marketing to create a distinctive customer experience. In addition to dine-in and takeaway services, Mariposa Bakehouse provides pre-order services and baking classes as additional revenue streams. The business utilizes Instagram, TikTok, WhatsApp, and online food delivery platforms to reach customers and support marketing activities. The business is planned to operate in Melawai, Blok M, an area characterized by high consumer mobility and culinary activity. Based on the five-year financial projection, Mariposa Bakehouse generates positive net income from the first year and is projected to experience increasing profitability throughout the projection period. The investment is projected to be recovered within approximately 4 years and 10 months, while the Net Present Value (NPV) is positive using a 5% discount rate. These projections indicate that Mariposa Bakehouse has potential to be developed as a premium handmade bakery business with an integrated baking class experience.
Keywords*: Business feasibility study, handmade bakery, premium bakery, baking class, business plan*

INTRODUCTION

The bakery industry is one of the sectors that continues to grow, supported by changing lifestyles, urbanization, and increasing consumer demand for practical and high-quality food. Globally, the artisan bakery market is projected to grow at a CAGR of 5.8% during 2024–2032. In Indonesia, the bakery market is projected to grow from 7.11% in 2025 to 9.38% in 2029, indicating promising opportunities for bakery businesses. Along with industry growth, consumer preferences are also changing. Consumers increasingly seek bakery products that are not only tasty but also visually attractive and suitable for modern lifestyles. Indonesia's bakery imports also recorded a 16.52% CAGR during 2020–2024, indicating increasing demand for a wider variety of bakery products.

This condition creates an opportunity in Melawai, Blok M, South Jakarta, an area surrounded by culinary, commercial, and lifestyle activities. Mariposa Bakehouse targets primarily Generation Z and Millennials who are interested in premium bakery products, aesthetic culinary experiences, and interactive activities. Mariposa Bakehouse, with the tagline “Bake with Love,

Serve with Happiness," is a premium handmade bakery offering bread, pastries, cakes, cookies, desserts, beverages, and interactive baking classes. Through its combination of quality products, aesthetic presentation, and memorable experiences, Mariposa Bakehouse aims to become a preferred bakery destination in the Melawai, Blok M area.

RESEARCH AND FINDINGS

The feasibility of Mariposa Bakehouse is analyzed through two main aspects: industry feasibility and financial feasibility. Industry feasibility is analyzed using PESTLE Analysis, Porter's Five Forces, SWOT Analysis, and Business Model Canvas (BMC). These tools are used to examine the external environment, industry competition, internal and external business conditions, and the overall business model. Financial feasibility is analyzed through the Source and Funding Statement, Income Statement, Cash Flow Statement, Balance Sheet, Payback Period, Net Present Value (NPV), and profitability ratios. These financial analyses are used to examine the business's ability to generate profit, manage cash flow, recover its initial investment, and create financial value.

Industry Feasibility

PESTLE Analysis

a) Political

The political factor affecting Mariposa Bakehouse is related to government policies concerning business licensing, food products, and halal assurance. Mariposa Bakehouse needs to ensure that its business operations comply with applicable government requirements, including business licensing and halal product regulations. Compliance with these requirements is important to support legal business operations and increase customer trust.

b) Economic

Economic conditions influence consumers' purchasing power as well as the operating costs of Mariposa Bakehouse. The business is affected by fluctuations in the prices of bakery ingredients such as flour, butter, chocolate, milk, eggs, and other raw materials. Therefore, Mariposa Bakehouse needs to manage inventory efficiently, maintain relationships with reliable suppliers, and regularly evaluate its pricing and cost structure. The financial projection is prepared based on estimated product sales, baking class revenue, raw material costs, employee salaries, rent, utilities, marketing expenses, and other operational costs. The business plan assumes that the rental cost is based on an estimated commercial rental cost in the Melawai Blok M area.

c) Social

Social trends provide opportunities for Mariposa Bakehouse because consumers increasingly value not only food quality but also aesthetics and experiences. Gen Z and Millennials are important target segments because of their interest in culinary trends, social media, and experiential consumption. Mariposa Bakehouse targets customers who appreciate premium products, aesthetic environments, handmade products, and activities such as baking classes. The business also targets consumers who enjoy sharing culinary experiences through social media.

d) Technological

Technology supports Mariposa Bakehouse in marketing, customer communication, sales, and payment activities. Instagram and TikTok are used to display products, communicate promotions, and promote baking classes. Online ordering channels and digital payment systems such as QRIS also provide convenience for customers. Indonesia had approximately 143 million social media user identities in early 2025, and consumers spent

significant amounts of time using social media. This creates an opportunity for Mariposa Bakehouse to use visual digital content as part of its marketing strategy.

e) Legal
Mariposa Bakehouse will comply with applicable food industry regulations to ensure business legality, food safety, and consumer protection. The business will obtain the required licenses, including a Business Identification Number (NIB), food-related permits, and halal certification. Food safety standards will also be applied throughout the production process to maintain product quality and minimize operational risks.

f) Environmental
Environmental considerations are particularly relevant to Mariposa Bakehouse because bakery operations generate food and packaging waste. The business therefore uses environmentally friendly packaging and seeks to reduce unnecessary single-use plastic. Sustainable packaging is also incorporated into the business's value proposition.

Porter's Five Forces

a) Threat of New Entrants
The threat of new entrants in the bakery industry is relatively high because bakery businesses can be established at different scales and access to basic bakery ingredients and equipment is relatively available. Digital platforms also make it easier for new businesses to promote and sell their products. Mariposa Bakehouse addresses this threat through premium handmade products, consistent quality, strong brand identity, aesthetic presentation, and its additional baking class experience.
Intensity: High

b) Bargaining Power of Suppliers
The bargaining power of suppliers is moderate because Mariposa Bakehouse requires various raw materials such as flour, butter, chocolate, milk, eggs, and fruits. The business can work with several suppliers to reduce dependence on a single supplier. However, fluctuations in raw material prices may still affect production costs.
Intensity: Moderate

c) Bargaining Power of Buyers
Buyer bargaining power is relatively high because customers have many alternatives, including bakeries, cafés, dessert shops, and home-based bakery businesses. Customers can easily switch to other businesses when product quality, price, service, or experience does not meet their expectations. Mariposa Bakehouse therefore emphasizes consistent product quality, attractive presentation, customer service, and a distinctive baking class experience.
Intensity: High

d) Threat of Substitute Products or Services
The threat of substitutes is high because customers can choose alternative products such as traditional bread, cakes, desserts, cafes, restaurants, or other bakery products. Mariposa Bakehouse reduces this threat by combining bakery products with an aesthetic dining experience and interactive baking classes.

Intensity: Moderate

e) Competitive Rivalry Among Existing Competitors
Competition in the bakery and café industry is relatively high because consumers have many choices. Mariposa Bakehouse differentiates itself through premium handmade products, aesthetic presentation, environmentally friendly packaging, digital marketing, and baking class services.
Intensity: High

SWOT Analysis

a) Strengths
Mariposa Bakehouse has a clear positioning as a premium handmade bakery. Its strengths include product quality, attractive product presentation, aesthetic store design, environmentally friendly packaging, digital marketing, and the availability of baking classes as an additional customer experience. The business also offers several product categories, including bread, pastry, dessert, cookies, and beverages.

b) Weaknesses
As a new business, Mariposa Bakehouse may initially have limited brand awareness and customer loyalty. The business also requires relatively significant initial investment because it operates as a physical bakery with production facilities, café seating, equipment, furniture, and a dedicated baking class room.

c) Opportunities
The continued development of the Indonesian bakery industry, increasing consumer interest in aesthetic culinary experiences, social media usage, and experiential activities creates opportunities for Mariposa Bakehouse. The business can also generate revenue from multiple sources, including bakery products, beverages, and baking classes.

d) Threats
The main threats include strong competition, fluctuations in raw material prices, changing consumer preferences, new bakery businesses entering the market, and customers' ability to switch easily to alternative products or establishments.

Business Model Canvas (BMC)

The Business Model Canvas describes how Mariposa Bakehouse creates, delivers, and captures value through nine elements: Customer Segments, Value Propositions, Channels, Customer Relationships, Revenue Streams, Key Resources, Key Activities, Key Partnerships, and Cost Structure.

1. **Value Proposition**
Mariposa Bakehouse offers premium handmade bakery products with attractive presentation and consistent quality. In addition to bakery products, the business offers an interactive baking class experience. The combination of premium products, aesthetic atmosphere, and experiential activities creates a distinctive value proposition.

2. **Customer Segments**
The primary target market is Generation Z, supported by Millennials and other consumers who appreciate premium bakery products, aesthetic environments, handmade products, and culinary experiences. The business also targets customers interested in baking classes and

consumers who actively use social media.

3. **Channels**
   Mariposa Bakehouse uses its physical store, takeaway services, WhatsApp, Instagram, TikTok, and online food delivery platforms to reach customers.

4. **Customer Relationships**
   Customer relationships are developed through friendly and responsive service, consistent product quality, promotions, customer engagement through social media, membership programs, and baking class activities.

5. **Revenue Streams**
   The main revenue streams come from bakery products, cakes, cookies, desserts, and beverages. Additional revenue is generated through baking classes, pre-orders, hampers, and special product orders.

6. **Key Resources**
   Key resources include the physical store, bakery equipment, baking tools, raw materials, employees, recipes and SOPs, Mariposa Bakehouse's brand, digital platforms, furniture, and POS/payment systems.

7. **Key Activities**
   Key activities include bakery production, quality control, product development, inventory management, customer service, digital marketing, order management, baking classes, and delivery coordination.
8. **Key Partnerships**
   Key partners include suppliers of bakery ingredients, environmentally friendly packaging suppliers, online food delivery platforms, influencers, food bloggers, cafés, and event organizers.

9. **Cost Structure**
   The major cost structure consists of raw materials, employee salaries, rent, utilities, gas, internet, marketing and promotion, packaging, equipment, furniture, inventory, maintenance, and other operational expenses.

Financial Feasibility

1. The depreciation rate for Mariposa Bakehouse’s equipment and furniture is set at 10% per year.
2. Marketing and promotion expenses are based on the annual marketing budget, with an annual increase of 4%.
3. The Cost of Goods Sold (COGS) for bakery and beverage products is assumed to be 30% of sales.
4. The COGS for baking class services is assumed to be 10% of baking class sales.
5. Employee salaries remain constant during the first three years, then increase by 6% in Year 4 and 8% in Year 5.

6. Tax payments are calculated based on the applicable tax regulations in Indonesia, at 0.5% of gross sales.

Table 1.3 Source and Funding Statement of Mariposa Bakehouse

Source	**Amount (IDR)**
Owner Investment	2,100,000,000
Total	**2,100,000,000**
Cost	**Amount (IDR)**
Marketing and Promotion	26,201,500
Packaging Material	13,645,880
Inventory	277,445,482
Equipment	517,122,106
Furniture	132,875,458
Employee Salary	588,000,000
Rent Area	330,000,000
Building Renovation	165,000,000
Cash (Working Capital)	49,709,574
Total	**2,100,000,000**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.4 Income Statement of Mariposa Bakehouse (IDR)

	Year 1	**Year 2**	**Year 3**	**Year 4**	**Year 5**
Gross Sale of Product	1.399.443.000,00	1.539.387.300,00	1.770.295.395,00	2.035.839.704,25	2.341.215.659,89
Gross Sale of Baking Class	940.395.000,00	1.034.434.500,00	1.189.599.675,00	1.368.039.626,25	1.573.245.570,19
Total Gross Sale	2.339.838.000,00	2.573.821.800,00	2.959.895.070,00	3.403.879.330,50	3.914.461.230,08
COGS – Product (30% of COGS)	419.832.900,00	461.816.190,00	531.088.618,50	610.751.911,28	702.364.697,97
COGS – Baking Class (10% of COGS)	94.039.500,00	153.938.730,00	177.029.539,50	203.583.970,43	234.121.565,99
Total COGS	513.872.400,00	615.754.920,00	708.118.158,00	814.335.881,70	936.486.263,96

Gross Profit	**1.825.965.600,00**	**1.958.066.880,00**	**2.251.776.912,00**	**2.589.543.448,80**	**2.977.974.966,12**
Marketing and Promotion	26.201.500,00	27.249.560,00	28.339.542,40	29.473.124,10	30.652.049,06
Salaries	588.000.000,00	588.000.000,00	588.000.000,00	623.280.000,00	673.142.400,00
Gas	23.040.000,00	23.961.600,00	24.920.064,00	25.916.866,56	26.953.541,22
Internet	5.880.000,00	6.115.200,00	6.359.808,00	6.614.200,32	6.878.768,33
POS System	3.588.000,00	3.731.520,00	3.880.780,80	4.036.012,03	4.197.452,51
Rent	330.000.000,00	330.000.000,00	330.000.000,00	343.200.000,00	356.928.000,00
Building Renovation	165.000.000,00	-	-	-	-
Water & Electricity	149.450.952,00	155.428.990,08	161.646.149,68	168.111.995,67	174.836.475,50
Total Expense	**1.291.160.452,00**	**1.134.486.870,08**	**1.143.146.344,88**	**1.200.632.198,68**	**1.273.588.686,63**
Net Income Before Tax	534.805.148,00	823.580.009,92	1.108.630.567,12	1.388.911.250,12	1.704.386.279,49
Tax (0.5%)	2.674.025,74	4.117.900,05	5.543.152,84	6.944.556,25	8.521.931,40
Net Income	**532.131.122,26**	**819.462.109,87**	**1.103.087.414,28**	**1.381.966.693,87**	**1.695.864.348,10**
Monthly Net Income	44.344.260,19	68.288.509,16	91.923.951,19	115.163.891,16	141.322.029,01

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.3 Balance Sheet of Mariposa Bakehouse (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Cash	1.704.688.076,26	2.159.383.200,03	2.873.840.151,54	3.839.652.195,00	5.101.668.769,98
Inventory	277.445.482,00	291.317.756,10	305.883.643,91	321.177.826,10	337.236.717,41
Equipment	517.122.106,00	465.409.895,40	418.868.905,86	376.982.015,27	339.283.813,75
Equipment Depreciation	(51.712.210,60)	(46.540.989,54)	(41.886.890,59)	(37.698.201,53)	(33.928.381,37)
Furniture	132.875.458,00	119.587.912,20	107.629.120,98	96.866.208,88	87.179.587,99
Furniture Depreciation	(13.287.545,80)	(11.958.791,22)	(10.762.912,10)	(9.686.620,89)	(8.717.958,80)
Total Assets	**2.567.131.365,86**	**2.977.198.982,97**	**3.653.572.019,60**	**4.587.293.422,85**	**5.822.722.548,95**
Owner Fund	2.035.000.243,60	2.157.736.873,10	2.550.484.605,32	3.205.326.728,97	4.126.858.200,85
Retained Earning	532.131.122,26	819.462.109,87	1.103.087.414,28	1.381.966.693,87	1.695.864.348,10
Total	**2.567.131.365,86**	**2.977.198.982,97**	**3.653.572.019,60**	**4.587.293.422,85**	**5.822.722.548,95**

Liabilities & Equity					

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.4 Cash Flow Statement of Mariposa Bakehouse (IDR)

	Year 1	**Year 2**	**Year 3**	**Year 4**	**Year 5**
Beginning Balance	**2.100.000.000,00**	**1.704.688.076,26**	**2.159.383.200,03**	**2.873.840.151,54**	**3.839.652.195,00**
Sales Revenue	2.339.838.000,00	2.690.813.700,00	3.094.435.755,00	3.558.601.118,25	4.092.391.285,99
COGS (40%)	513.872.400,00	807.244.110,00	928.330.726,50	1.067.580.335,48	1.227.717.385,80
Marketing and Promotion	26.201.500,00	26.201.500,00	27.249.560,00	28.339.542,40	29.473.124,10

Salaries	588.000.000,00	588.000.000,00	588.000.000,00	623.280.000,00	660.676.800,00
Water & Electricity	149.450.952,00	155.428.990,08	161.646.149,68	168.111.995,67	174.836.475,50
Rent Area	330.000.000,00	330.000.000,00	330.000.000,00	343.200.000,00	356.928.000,00
Building Renovation	165.000.000,00	-	-	-	-
Gas	23.040.000,00	23.961.600,00	24.920.064,00	25.916.866,56	26.953.541,22
Internet	5.880.000,00	6.115.200,00	6.359.808,00	6.614.200,32	6.878.768,33
POS System	3.588.000,00	3.731.520,00	3.880.780,80	4.036.012,03	4.197.452,51
Inventory	277.445.482,00	291.317.756,10	305.883.643,91	321.177.826,10	337.236.717,41

Equipment	517,122,106	-	-	-	-
Furniture	132,875,458	-	-	-	-
Tax (0.5%)	2.674.025,74	4.117.900,05	3.708.070,60	4.532.296,23	5.476.446,15
Total Cash Outflows	**2.735.149.923,74**	**2.236.118.576,23**	**2.379.978.803,49**	**2.592.789.074,79**	**2.830.374.711,01**
Cash Flow	**(395.311.923,74)**	**454.695.123,77**	**714.456.951,51**	**965.812.043,46**	**1.262.016.574,97**
Ending Balance	**1.704.688.076,26**	**2.159.383.200,03**	**2.873.840.151,54**	**3.839.652.195,00**	**5.101.668.769,98**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.5 Payback Period of Mariposa Bakehouse (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Initial Investment	2.100.000.000,00				
Cash Flow	(395.311.923,74)	454.695.123,77	714.456.951,51	965.812.043,46	1.262.016.574,97
Cumulative Cash Flow	**(395.311.923,74)**	**59.383.200,03**	**1.169.152.075,28**	**1.680.268.994,97**	**2.227.828.618,44**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.6 Net Present Value of Mariposa Bakehouse (IDR)

Year	Cash Flow	DF 5%	PV (IDR)
0	(2.100.000.000)	1	(2.100.000.000)
1	(395.311.924)	0,95238095	(376.487.546)
2	454.695.124	0,90702948	412.421.881
3	714.456.952	0,8638376	617.174.777
4	965.812.043	0,82270247	794.575.958
5	1.262.016.575	0,78352617	988.823.009
Total NPV (IDR)			**336.508.079**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.7 Ratio Analysis of Mariposa Bakehouse

Ratio	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Return on Asset (ROA)	21%	28%	30%	30%	29%
Return on Sales (ROS)	23%	32%	37%	41%	43%
Return on Investment (ROI)	25%	39%	53%	66%	81%

Source: Author's compilation, 2026

CONCLUSION

a. Based on the Porter's Five Forces, SWOT Analysis, and Business Model Canvas, Mariposa Bakehouse has a strong opportunity to develop as a profitable premium handmade bakery business in Melawai, South Jakarta. Its differentiation through quality bakery products, an aesthetic café concept, and baking class experiences provides opportunities to build customer loyalty and expand its market reach through digital channels..

b. Based on the financial analysis, Mariposa Bakehouse is financially feasible, with positive profitability and growth throughout the five-year projection. The Payback Period of 4 years and 10 months indicates that the initial investment can be recovered before the end of the fifth year. The positive NPV and improving ROA, ROS, and ROI further support the business's financial potential.

REFERENCES

6Wresearch. (2024). *Indonesia bakery market: Import trend analysis 2020–2024*. 6Wresearch.
Bank Indonesia. (2025). *Laporan keuangan tahunan Bank Indonesia tahun 2024*. Bank Indonesia.
Bank Indonesia. (n.d.). *Quick Response Code Indonesian Standard (QRIS)*. Bank Indonesia.
Badan Pusat Statistik. (2026). *Ekonomi Indonesia tahun 2025 tumbuh 5,11 persen*. Badan Pusat Statistik.
Badan Pusat Statistik. (2026). *Inflasi year-on-year (y-on-y) pada Desember 2025 sebesar 2,92 persen*. Badan Pusat Statistik.
Databoks. (2025). *Global consumers willing to pay more for green products decline*. Katadata.
DPO International. (2022). *Market trends in Indonesia bakery*. DPO International.
GoodStats. (2024). *Indonesia juara satu penjualan online food delivery tingkat Asia Tenggara*. GoodStats.
Jakpat. (2025). *Consumer insights: Local food & beverage market*. Jakpat.
Kementerian UMKM Republik Indonesia. (2025). *Arah kebijakan pengembangan UMKM dan kewirausahaan 2025–2029*. Kementerian UMKM Republik Indonesia.
Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2021 tentang kemudahan, pelindungan, dan pemberdayaan koperasi dan usaha mikro, kecil, dan menengah*. Pemerintah Republik Indonesia.
We Are Social & Meltwater. (2025). *Digital 2025: Indonesia*. DataReportal.

USE OF NANOCELLULOSE FROM FRUIT WASTE IN PACKAGING APPLICATIONS: TRACKING FOOD QUALITY CHANGES THROUGH COLOUR INDICATION

R.Thiruchelvi
Research Scholar, Biotechnology, St. Joseph's College of Engineering, Chennai, India.
ORCID NO: 0000-0001-5532-8597
Dr.P.Saravanan
Head & Associate Professor, Chemistry, St. Joseph's College of Engineering, Chennai, India.
Dr.M.Chamundeeswari
Associate Professor, Biotechnology, St. Joseph's College of Engineering, Chennai, India.

Abstract
Every year, tonnes of peels, pomace, seeds and stems leave fruit-processing units with little more than a disposal cost attached, yet these residues are rich in cellulose that can be refined into nanocellulose. This review examines what happens when that discarded fibre is put back to work inside food packaging, and in particular how it can help a package tell the consumer what is happening to the food within. Published studies on banana, pineapple, orange and other fruit residues show that cellulose nanocrystals and nanofibres can be isolated through alkali and bleaching steps followed by acid, enzymatic or mechanical routes, and that adding them to starch, chitosan or pectin films generally improves tensile strength together with water-vapour and light-barrier behaviour. Beyond protection, the hydroxyl-rich nanocellulose network is an effective host for natural pigments such as anthocyanins, holding them evenly in the film and limiting leaching. As food spoils, the volatile amines or organic acids released shift the local pH and the pigment changes colour, for example from purple to blue in shrimp storage trials, so freshness can be judged by eye or with a smartphone camera. The literature also exposes unresolved questions: pigment stability under light and humidity, the gap between laboratory and real supply-chain conditions, the chemical and energy load of extraction, and the limited migration and safety data for nanomaterials in food contact. We argue that pairing waste-derived nanocellulose with natural colour indicators is a realistic route to packaging that is both low-impact and informative, and that standardised calibration against microbial and chemical spoilage markers is the necessary step before commercial adoption.

Keywords: Nanocellulose, Fruit waste valorization, Intelligent packaging, Colorimetric indicator, Anthocyanin

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

RENEWED HOPELESSNESS, DESTITUTION AND DECEPTION IN KYUKA LILYMJOK'S *HOPE IN ANARCHY*

Dr. Idris Muhammad Ladan
Nasarawa State University, Keffi

ABSTRACT

This paper examines renewed hopelessness, destitution and deception in Kyuka Lilymjok's *Hope in Anarchy*, a Nigerian novel that interrogates the relationship between poverty, political disorder and the failure of public institutions. The study investigates how the persistent suffering of the disadvantaged, the inadequacies of governance and the manipulation of popular aspirations undermine the possibility of meaningful social transformation. Through the experiences of Ahoka and his father, Solo, the novel represents destitution as more than a condition of material deprivation; it is also a manifestation of social exclusion, institutional neglect and the erosion of human dignity. The paper further examines how the promise of revolutionary change becomes a source of renewed disappointment when those who claim to represent the oppressed reproduce the same patterns of domination they seek to overthrow. Drawing on postcolonial literary criticism and social realism, the study adopts a qualitative method of textual analysis to explore the relationship between individual suffering and systemic failure. It argues that the novel's central paradox lies in the presentation of hope as both a necessary response to injustice and a vulnerable instrument of political manipulation. The study concludes that lasting social transformation requires accountable leadership, institutional reform, economic inclusion and the protection of human dignity.

Keywords: Renewed hopelessness, destitution, deception, hope, anarchy, governance, post-colonialism,

1. Introduction

Literature has consistently served as a medium through which writers interrogate the contradictions of human existence, expose social injustice and examine the relationship between individuals and the institutions that govern their lives. In societies characterised by poverty, political instability, corruption and unequal access to opportunities, the literary imagination frequently becomes a vehicle for questioning the legitimacy of existing structures of power. Nigerian literature, in particular, has developed a strong tradition of social criticism through its representation of failed leadership, economic deprivation, moral degeneration and the struggle of ordinary citizens to achieve meaningful existence. Within this tradition, Kyuka Lilymjok's *Hope in Anarchy* offers a compelling fictional exploration of the relationship between social deprivation and the uncertain possibility of political transformation.

The novel presents a society in which the promises of government have become increasingly disconnected from the lived experiences of the poor. Its fictional setting, Beku City and the surrounding republic, reveals a social order in which insecurity, homelessness, poverty and institutional failure undermine the expectations of ordinary people. The author's description identifies Ahoka, a child living with his impoverished father, Solo, as a central figure whose dreams are repeatedly frustrated by material deprivation. It also describes a society in which the government, judiciary and police have failed to perform their expected responsibilities. These circumstances establish the novel's central concern with the failure of institutions to protect citizens and provide the conditions necessary for human development.

The title *Hope in Anarchy* establishes a significant contradiction. Hope ordinarily suggests expectation, possibility and confidence in a better future, whereas anarchy evokes disorder, the collapse of authority and the absence of effective regulation. Their combination raises a fundamental question: how can hope survive in a society where the institutions responsible for maintaining order have become instruments or symptoms of oppression? The contradiction also invites an examination of the circumstances under which people abandon established political structures and begin to associate liberation with radical alternatives.

This paper approaches the novel through three interrelated concepts: renewed hopelessness, destitution and deception. Renewed hopelessness refers to the repeated destruction of expectations that emerge whenever individuals or communities anticipate improvement but encounter conditions that reproduce their suffering. Destitution refers to extreme material deprivation and the accompanying loss of security, social recognition and human dignity. Deception, in the context of this study, concerns the manipulation of expectations through promises of justice, freedom or transformation that are not fulfilled in practice. These concepts are interconnected rather than independent. Destitution creates the conditions in which hope becomes indispensable to survival. Political and social promises then offer the possibility of escaping deprivation. However, when those promises are manipulated or betrayed, the resulting disappointment renews hopelessness. Where political movements reproduce the injustices they claim to oppose, the cycle becomes especially destructive because the people are deprived not only of material security but also of confidence in the possibility of change.

The novel is therefore, relevant to contemporary discussions of leadership, social responsibility, political legitimacy and the crisis of governance in Nigeria and other postcolonial societies. Although the fictional republic should not be treated as a direct documentary representation of any particular state, its social and political circumstances permit a broader examination of the relationship between institutional failure and popular disillusionment.

The central argument of this paper is that *Hope in Anarchy* presents renewed hopelessness as a consequence of persistent destitution and the betrayal of collective aspirations. Through its representation of impoverished individuals and the failure of established and alternative structures of authority, the novel questions whether liberation can be achieved when the pursuit of power takes precedence over the welfare of the people.

2. Conceptual Clarification

2.1 Renewed Hopelessness

Hopelessness describes a condition in which individuals or communities lose confidence in the possibility of achieving desired outcomes. In literary analysis, however, hopelessness need not be understood as a permanent emotional state. It can emerge through repeated encounters with disappointment, particularly when social circumstances prevent individuals from translating their aspirations into reality.

The expression *renewed hopelessness* is especially useful for interpreting *Hope in Anarchy* because it emphasises repetition. The suffering represented in the novel does not arise from a single unfortunate event. Rather, characters encounter interconnected social conditions that repeatedly frustrate their expectations. Material deprivation restricts their choices, institutional failure denies them meaningful protection, and the prospect of political change introduces new expectations that may ultimately collapse. Renewed hopelessness therefore, involves a cycle in which hope emerges, becomes attached to a proposed solution and subsequently deteriorates when the anticipated transformation fails to occur.

The concept also draws attention to the psychological consequences of systemic injustice. When institutions repeatedly fail, individuals may begin to doubt not only the authorities but also the possibility of justice itself.

In the novel, this process is particularly significant because the promise of an alternative social order emerges from dissatisfaction with existing conditions. The expectation of liberation becomes another source of disappointment when the alternative fails to establish the justice it promises.

2.2 Destitution

Destitution refers to extreme poverty and the absence of basic resources required for dignified existence. It may involve homelessness, food insecurity, unemployment, inadequate healthcare and the inability to obtain essential services. Nevertheless, literary representations of destitution frequently extend beyond economic deprivation to expose the structures that make poverty persistent.

In *Hope in Anarchy*, the experiences of Ahoka and Solo illustrate the relationship between material hardship and social exclusion. The publisher's synopsis identifies their homelessness and Ahoka's struggle to survive through collecting discarded bottles and selling seawater. These activities establish the severity of their economic circumstances and the limitations imposed on the child's opportunities.

The significance of this representation lies in the contrast between the child's aspirations and the conditions under which he must live. Ahoka's circumstances challenge the assumption that individual determination is sufficient to overcome poverty. His struggle reveals how social arrangements can constrain personal agency before an individual has the opportunity to realise his potential. Destitution consequently becomes a social and political question. It invites an investigation into the distribution of resources, the responsibilities of government and the mechanisms through which vulnerable citizens are excluded from the benefits of collective development.

2.3 Deception

Deception generally involves the concealment or distortion of truth in order to influence another person's beliefs, expectations or actions. In political contexts, it may occur through false promises, the manipulation of public grievances, the presentation of private interests as collective objectives or the use of liberation rhetoric to legitimise new forms of domination.

In *Hope in Anarchy*, deception is particularly relevant to the relationship between popular dissatisfaction and revolutionary expectation. The failure of established institutions creates a demand for alternatives. However, the existence of legitimate grievances does not guarantee that those who claim to represent the oppressed will act in their interests.

The concept therefore, requires a distinction between the sincerity of people's aspirations and the intentions of those who mobilise them. The poor may genuinely desire justice, security and freedom, while political actors may use those desires to establish their own authority. Deception becomes most damaging when it transforms the language of liberation into an instrument of control. Under such circumstances, the vocabulary of justice survives, but its practical meaning changes. The people continue to hear promises of a better society while experiencing the reproduction of the same inequalities.

3. Theoretical Framework

This study employs postcolonial literary criticism, supported by the principles of social realism, to examine the representation of renewed hopelessness, destitution and deception in *Hope in Anarchy*.

3.1 Postcolonial Literary Criticism

Postcolonial criticism investigates the political, economic, cultural and psychological consequences of colonialism and the structures of domination that persist after formal colonial rule. It is particularly useful for examining societies in which political independence has not necessarily produced social justice, accountable leadership or economic equality.

Frantz Fanon, in *The Wretched of the Earth*, examines the contradictions of national liberation and warns that the transfer of political authority does not automatically transform the material conditions of the population. His discussion of the national bourgeoisie is important because it demonstrates how an indigenous ruling class may reproduce exploitative relationships rather than dismantle them (Fanon).

This argument provides a useful framework for understanding the political contradictions in *Hope in Anarchy*. The novel's social order reveals the suffering of ordinary citizens under institutions that have failed to provide justice and security. The emergence of an alternative political movement consequently appears to offer an escape from the established order. Nevertheless, the moral legitimacy of that movement must be assessed through its actual treatment of the people rather than through its declared intentions. Fanon's analysis helps explain why revolutionary change may reproduce the conditions it claims to eliminate. When the acquisition of power becomes more important than the transformation of social relations, liberation loses its emancipatory character.

Homi K. Bhabha's *The Location of Culture* also, provides a broader understanding of postcolonial contradictions, particularly the instability of authority and the contested nature of political identities. His work encourages attention to the gap between official claims and lived realities. Applied to the novel, this perspective helps illuminate the discrepancy between the promises of political actors and the experiences of the disadvantaged.

Postcolonial criticism is therefore, relevant to the study because it shifts attention from individual misfortune to the institutional and ideological conditions that reproduce suffering. It also, enables the analysis to question whether the replacement of one authority with another necessarily produces a more

just society.

3.2 Social Realism

Social realism is a literary approach that represents social conditions, institutional relationships and the experiences of individuals within a recognisable material environment. It often foregrounds poverty, inequality, exploitation and the contradictions between dominant social ideals and everyday realities.

In *Hope in Anarchy*, the depiction of homelessness, insecure livelihoods and institutional failure establishes a social environment in which individual suffering is inseparable from broader structural problems. The experiences of Ahoka and Solo are not merely private tragedies; they reveal the consequences of a social order that does not adequately protect its most vulnerable members.

Social realism is particularly useful for interpreting the novel's attention to the material details of poverty. The bridge, the streets and the activities through which Ahoka attempts to survive establish the physical conditions of his deprivation. These details make visible the distance between the language of national progress and the experiences of those excluded from its benefits.

The approach also, allows the study to connect literary representation with social criticism without reducing the novel to a sociological report. The work remains a creative narrative whose characters, setting and conflicts communicate broader concerns through artistic representation. The combination of postcolonial criticism and social realism thus provides a framework for examining both the structures that generate deprivation and the political processes through which the promise of change may be betrayed.

4. Review of Related Literature

Critical engagement with *Hope in Anarchy* has considered its stylistic strategies, political implications and representation of social dysfunction. These studies provide a foundation for the present inquiry while leaving room for a more focused examination of the relationship between destitution, deception and renewed hopelessness.

Muniru Oladayo Murana and Hafsat AbdulWahab, in “An Exploration of Adamu Kyuka Usman’s Style of Introduction in *Hope in Anarchy*,” investigate the linguistic and stylistic devices through which the novel establishes its characters and sustains readers' interest. Their analysis identifies the importance of contrast, lexical selection, syntactic construction and descriptive language in presenting Ahoka's circumstances and the contradictions surrounding his life. They argue that the novel's introductory strategies establish a narrative atmosphere in which hope is complicated by the reality of deprivation.

Their study is relevant because stylistic choices influence how readers understand poverty and vulnerability. However, its principal emphasis is on linguistic stylistics, especially the opening chapter. The present study moves beyond the introductory strategies to consider the broader thematic relationship between destitution, political promises and the repeated collapse of hope.

Victor Ogbeide's “Revolutionary Action in the Recent Nigerian Novel: A Study of Usman's *Hope in Anarchy*” examines the nature of revolutionary action under conditions of poverty, unemployment, insecurity and maladministration. Ogbeide considers the attempt by Jokulo and his associates to eliminate wealthy and oppressive figures in pursuit of a more just social order. His analysis highlights the contradiction between the revolution's stated objectives and its eventual failure as Jokulo becomes increasingly authoritarian (Ogbeide).

Ogbeide's argument is particularly important to the present study because it identifies the gap between revolutionary ideals and political practice. The failure of the alternative order illustrates how the pursuit of justice can be compromised when power becomes an end in itself. This paper develops this insight by interpreting the contradiction as a mechanism through which hope is renewed and subsequently betrayed.

Ishima Jighjigh Leo Justus and Chris K. Ukande, in “Social Ineptitude as the Core of Politics in Adamu Kyuka Usman’s *Hope in Anarchy*,” examine the novel's representation of political failure and the suffering of ordinary citizens. They argue that the text exposes the ineffectiveness and moral failures of political actors while drawing attention to the dehumanising conditions experienced by the disadvantaged.

Their study reinforces the importance of examining the relationship between political leadership and

social welfare. However, the specific interaction among destitution, deception and renewed hopelessness deserves further attention. A person who is already deprived may develop new expectations when a political movement promises liberation. When the movement reproduces domination, the resulting disappointment is more than a repetition of the original suffering: it also undermines confidence in future alternatives. This study contributes to this discussion by bringing these three concepts together within a single interpretive framework. Rather than treating poverty, political failure and revolutionary disappointment as separate issues, it examines how they reinforce one another. The review also indicates that the proposed article should be understood as an extension of existing criticism, not as the first study to discuss the novel's political concerns. Its distinctive emphasis is the cyclical relationship between material deprivation, manipulated expectations and the reproduction of despair.

6. Destitution and the Denial of Human Dignity

One of the most significant aspects of *Hope in Anarchy* is its representation of destitution through the experiences of Ahoka and his father, Solo. Their circumstances establish the human consequences of a social order in which access to housing, stable employment and basic security is severely restricted.

The image of Ahoka living under a bridge is especially significant. A bridge ordinarily facilitates movement between places, but it becomes a place of residence for a child who has been deprived of a secure home. This transformation gives the setting symbolic importance. A structure designed to connect communities becomes the shelter of someone excluded from the security those communities should provide. This is clear in Ahoka's life that: 'Desowa and Beku Island had become his only home since the day he and his father were thrown out of their one- room apartment in Desowa because they could not pay the three thousand rids monthly rent demanded by their landlord'' (1). The image therefore, captures the contradiction between social development as an official ideal and deprivation as a lived reality. Infrastructure may exist, yet its presence does not guarantee that vulnerable people will enjoy the benefits of a functioning society.

The loss of the family's accommodation because of their inability to pay rent further demonstrates the relationship between economic vulnerability and social exclusion. The problem is not simply that Ahoka and Solo lack money. Their poverty exposes them to circumstances in which their right to shelter depends on resources they cannot obtain. The episode also raises questions about the responsibilities of institutions in protecting vulnerable citizens. Housing is not merely a private possession; it is a basic condition of human security. When individuals are forced into homelessness, the consequences extend to their physical safety, emotional stability, educational opportunities and social relationships.

Ahoka's circumstances are particularly troubling because he is a child. Childhood ordinarily implies a period in which individuals should receive care, protection and opportunities for development. His involvement in activities designed to secure minimal income illustrates the premature burden imposed by poverty. The collection of discarded bottles and the sale of seawater symbolise the struggle to survive in an environment where ordinary avenues of economic advancement are inaccessible. These activities demonstrate Ahoka's resourcefulness, but they also reveal the limitations of individual effort. His capacity to work cannot, by itself, eliminate the structural conditions that keep him impoverished. To support the devastating poverty situation of his parents, he thus: ''He had to comb the streets of Beku in search of discarded empty bottles, plastic cans and rusty iron bars for to bottling companies and steel rolling mills'' (6). ''He also, goes to Hacul beach to fetch sea water for people who needed it for medical purposes or for making charms. In fact, he would have preferred this trade to scratching the streets for empty bottles if it had its own hazards too'' (8).

The distinction between personal determination and structural opportunity is central to the novel's social criticism. A society cannot reasonably celebrate individual resilience while ignoring the institutional conditions that make such resilience necessary for survival. Ahoka's efforts are evidence of his agency, but they are also evidence of a social order that has failed to protect his childhood and secure his future.

Solo's circumstances similarly expose the relationship between poverty and diminished social recognition. His position as an impoverished ex-service man raises questions about the responsibilities owed to people whose labour or service has not secured them a dignified existence. The contrast between

social expectations of responsibility and the reality of homelessness underscores the inadequacy of institutions that fail to protect vulnerable citizens. The manifestation of a failed leadership to provide for the citizens is glaring in the case of Solo and his pregnant wife when he took her to the hospital while under labour for delivery, and it happens that the nurse said to him, thus:

I hope, you know you know the new rate for taking a bed in the maternity ward? She said by a way of reply. 'How much e be?'' He asked, his heart skipping a beat. 'Eight Thousand rida, 'she said, tapping the floor with her right foot. 'Eight thousand wetin?' he asked, sweat breaking out on his forehead. 'Abi na una go born the pikin foram?' 'I said Eight thousand rida 'the nurse repeated….Madam, shebi una o fit accept five hundred rida now, I go sign paper come pay the remaining money for month end? He asked in despair. 'Accept what?' the nurse asked, laughing. Im sure you what you are talking about. 'Do you know that trust has since fled this country and will never return?'…. (39-40)

The above submission is a clear presentation of the calamitous situation Solo found himself to the extent that even his master could not save him when he ran to him for a loan or pay-advance only to be queried as to he had been doing with his salary (40).

Destitution also, affects the characters psychologically. The absence of secure accommodation, stable income and reliable support produces an existence dominated by immediate survival. Under these conditions, long-term planning becomes difficult because the demands of the present constantly threaten the possibility of the future. This is one reason poverty can generate renewed hopelessness. The individual may imagine a better life, but the conditions necessary to realise that future remain unavailable. Hope becomes an essential psychological resource, yet its persistence depends on opportunities that the social order repeatedly denies.

The novel's treatment of destitution consequently challenges interpretations that attribute poverty exclusively to personal failure. Through Ahoka and Solo, material deprivation emerges as a condition shaped by social arrangements, economic inequality and institutional inadequacy. Their suffering invites readers to question a political order in which the most vulnerable must struggle for necessities that should form part of a dignified human existence.

7. Institutional Failure and the Collapse of Public Confidence

Destitution in the novel is intensified by the failure of institutions expected to provide security, justice and social order. The publisher's synopsis describes a society in which government has become ineffective, judges fail to uphold justice and the police have abandoned their proper responsibilities. These representations suggest that the crisis confronting the fictional republic is not limited to economic hardship. It also concerns the loss of confidence in the institutions through which social life should be regulated. This is glaring from the experience of Ahoka when he lost the his given to him by Madam Narosi for finding her ring. The police stole the money and later framed him. Soon after the loss of the money, he faints. Ahoka thus:

He returned from the lagoon to find the money gone and in its place was a powdery substance. He started screaming and all went blank for him. When he came to later, two policemen were hovering over him. Then he started knocking his head on the bridge concrete crying for his money. …He work up to find himself in hospital with a nurse standing beside his bed. He was unconscious and lost memory. When he regains consciousness and trying to give details of things, the two policemen insisted he was a junkie and a pusher who could not be to talk sense (130-131)

Ahoka was framed up by the two policemen of sniffing and cocaine pushing. They arraigned him before a court judge on two count charges of sniffing and cocaine pushing, presenting the claimed cocaine wrap in the court. The judge compromises his profession by sentencing Ahoka to ten years imprisonment with hard labour without giving him fair hearing to determine the genuity of the allegations. The judge states thus: ''The case was not one of pleading *allocutus* judge further held, Ahoka is hereby sentence to ten years imprisonment with hard labour'' (134). Looking at the two actions of both the law enforcement agents and the judiciary who supposed to be the protectors and last hope of the common man, yet compromise the hope and expectations of the society

Government derives its legitimacy partly from its capacity to protect citizens, maintain public order and

provide conditions for collective development. When it fails to perform these functions, its authority becomes increasingly disconnected from the welfare of the population. Citizens may continue to live under its formal structures, but their confidence in its moral legitimacy deteriorates.

The failure of the judiciary is especially significant because justice provides a mechanism through which citizens can challenge abuse and resolve disputes. When judicial institutions become ineffective or indifferent, the disadvantaged are particularly vulnerable. Wealth and influence may determine outcomes more strongly than fairness, thereby deepening existing inequalities.

Similarly, the failure of law-enforcement institutions undermines public confidence in the rule of law. The police are expected to protect citizens against violence and criminal activity. When they are perceived as contributing to insecurity, the distinction between protection and threat becomes blurred. Such institutional contradictions create the conditions in which political alternatives become attractive. If established authorities do not provide justice, citizens may begin to regard radical opposition as the only remaining route to transformation.

However, the novel does not simply invite an uncritical rejection of existing institutions. Its deeper concern lies in the question of what should replace them. The failure of an established order may justify the demand for change, but it does not automatically validate every movement that claims to offer an alternative.

The resulting political dilemma is central to the novel. The people need an alternative because the existing order has failed them, yet they remain vulnerable to leaders who exploit their dissatisfaction. Institutional failure thus creates an opening for deception. The connection between governance and renewed hopelessness becomes apparent at this point. Citizens initially hope that government will provide security and justice. When it fails, they may transfer their expectations to alternative political actors. If those actors subsequently reproduce injustice, the original disappointment is renewed.

The cycle demonstrates that political legitimacy cannot be sustained by promises alone. Institutions and leaders must be evaluated through their actual consequences for human welfare. A change in personnel, slogans or political arrangements is insufficient if the material conditions of the people remain unchanged. The novel's representation of institutional failure therefore has implications beyond the fictional republic. It invites reflection on societies in which public confidence deteriorates because official commitments to justice, development and security are contradicted by everyday experiences. In such contexts, the restoration of confidence requires more than rhetorical assurances; it demands accountable institutions and visible improvements in the lives of citizens.

8. Deception and the Manipulation of Collective Hope

The relationship between hope and deception constitutes one of the most important dimensions of *Hope in Anarchy*. The failure of established institutions creates a political environment in which people become receptive to alternative visions of society. Jokulo and his associates enter this environment by presenting revolutionary action as a means of overcoming oppression. The appeal of such a movement is understandable within the novel's circumstances. People who experience poverty, insecurity and exclusion have legitimate reasons to demand change. Their dissatisfaction cannot be dismissed as irrational because it emerges from material conditions that undermine their dignity and opportunities.

Nevertheless, legitimate grievances can be exploited by political actors whose objectives differ from those of the people they claim to represent. This distinction is essential to understanding deception in the novel. The existence of injustice does not guarantee that every movement opposing it will establish justice.

Revolutionary rhetoric acquires its persuasive force by connecting present suffering with the promise of a better future. It offers the disadvantaged a language through which their experiences can be interpreted as collective grievances rather than isolated misfortunes. It also suggests that a different political arrangement could restore dignity and distribute opportunities more fairly. The danger arises when this promise becomes a means of acquiring authority rather than a commitment to social transformation. In such circumstances, the people are mobilised as instruments of political action without receiving the justice that legitimises their participation.

The revolutionary project in *Hope in Anarchy* exposes this contradiction. The proposed alternative order

initially appears to offer a response to the failure of established institutions. However, the eventual transformation of Jokulo into an increasingly authoritarian figure reveals the instability of the movement's emancipatory claims. Ogbeide similarly identifies the contradiction between the revolution's aspirations and the authoritarian tendencies that emerge as its leader consolidates power (Ogbeide). This development gives deception a structural dimension. It is not merely a matter of an individual telling lies. Rather, deception occurs when the political language of justice conceals the continuation of domination. The vocabulary of liberation remains in circulation, but its practical purpose becomes increasingly disconnected from the welfare of the population.

The people are therefore deceived at two levels. First, they are disappointed by established institutions that fail to fulfil their responsibilities. Second, they encounter an alternative movement whose promise of liberation is compromised by its own concentration of power. The second disappointment is particularly damaging because it weakens the assumption that political change can provide an escape from injustice. The collapse of one order may be understood as a failure of particular leaders or institutions. The failure of an alternative movement, however, threatens to discredit the possibility of transformation itself.

The novel consequently presents a warning about the dangers of confusing revolutionary language with revolutionary ethics. Genuine transformation requires a commitment to accountability, justice and the welfare of ordinary people. Without these principles, the struggle against oppression may become another mechanism through which oppression is reproduced.

The concept of deception also invites an ethical evaluation of leadership. Leaders who mobilise people through promises of justice assume responsibilities towards those who trust them. Their authority cannot be justified solely by their opposition to an existing regime. They must demonstrate that their own practices are consistent with the values they claim to defend.

In this respect, the novel challenges the assumption that a leader's legitimacy derives automatically from the injustices of the system being opposed. The moral failure of an established order does not excuse the moral failure of its replacement. The oppressed deserve more than a change in the identity of those who exercise power; they deserve a transformation of the conditions under which power operates.

9. Renewed Hopelessness and the Betrayal of Revolutionary Aspirations

The theme of renewed hopelessness emerges most clearly from the interaction between material deprivation, institutional failure and the collapse of revolutionary expectations. The novel's title suggests that hope has become inseparable from disorder because the existing political order has failed to provide a credible alternative.

Initially, the demand for revolutionary change appears to arise from a legitimate desire to escape suffering. The people have experienced the failure of institutions that should protect them, and the prospect of a different political arrangement offers the possibility of justice. However, the emergence of a new authority does not necessarily transform the structures responsible for the original crisis. When the new leadership becomes authoritarian, the anticipated future begins to resemble the oppressive present. Hope is therefore renewed only to be disappointed again.

This pattern can be understood as a cycle of political expectation and disillusionment. The people experience injustice, develop expectations of change, invest confidence in a proposed alternative and subsequently encounter the reproduction of domination. Each repetition makes the next promise more difficult to trust.

Renewed hopelessness differs from ordinary disappointment because it involves the repeated destruction of expectations under conditions that appear resistant to meaningful change. It becomes a social condition when individuals and communities lose confidence in the capacity of institutions or political movements to improve their lives. The experience of renewed hopelessness also has psychological consequences. People may become cynical about political promises, suspicious of leadership and reluctant to invest in collective projects. Such attitudes can weaken social solidarity because individuals no longer believe that cooperation will produce meaningful improvement.

The novel's political trajectory suggests that hopelessness can be intensified by the failure of those who claim to speak for the disadvantaged. When political actors exploit the people's suffering, they damage

the relationship between leadership and collective aspiration. The resulting disillusionment may extend beyond particular leaders to affect public confidence in political action itself. Nevertheless, the novel's critical force should not be interpreted as an argument that hope is inherently deceptive or that political transformation is impossible. Rather, it distinguishes between hope as a human aspiration and hope as a political instrument.

Hope remains necessary because it enables individuals to imagine conditions different from those they presently endure. Without the ability to envision alternatives, social injustice risks becoming normalised. Yet hope must be connected to realistic programmes, ethical leadership and institutional arrangements capable of producing measurable improvements.

The title's paradox is therefore central to the novel's message. If hope can be found only in anarchy, the society has reached a point at which established institutions have lost their credibility. However, if the proposed alternative reproduces domination, anarchy cannot provide a sustainable foundation for justice. The resulting contradiction reveals the limitations of change pursued without a clear ethical commitment. Political disruption may expose the failures of an existing system, but disruption alone cannot create a just social order. The reconstruction of society requires institutions that protect citizens, distribute opportunities fairly and hold leaders accountable.

Renewed hopelessness thus becomes a critique of political transformation without moral transformation. The novel suggests that a society cannot escape injustice simply by replacing one set of leaders with another. Unless the relationship between power and public responsibility changes, the cycle of suffering is likely to continue.

10. Characterisation, Setting and the Symbolism of Social Exclusion

The thematic significance of *Hope in Anarchy* is reinforced by its characterisation and setting. Ahoka, Solo and Jokulo represent different positions within the novel's social and political conflicts. Their roles help establish the relationship between material deprivation, political mobilisation and the uncertain promise of liberation.

10.1 Ahoka as a Figure of Vulnerability and Possibility

Ahoka's character foregrounds the vulnerability of individuals whose opportunities are restricted by circumstances beyond their control. As a child living in poverty, he represents the human consequences of a society that fails to provide adequate protection for its youngest members.

His survival activities demonstrate determination and resourcefulness. Nevertheless, his situation reveals the limits of individual agency when access to basic necessities is insecure. His experience therefore challenges explanations of social failure that rely exclusively on personal responsibility.

Ahoka also embodies the possibility of a different future. His existence invites readers to imagine what might become possible if children in similar circumstances had access to secure housing, education, healthcare and social support.

His significance consequently extends beyond his individual predicament. He becomes a measure of the society's moral condition. The treatment of vulnerable children reveals whether political institutions genuinely prioritise human welfare or merely reproduce the language of public responsibility.

10.2 Solo and the Burden of Material Deprivation

Solo's circumstances extend the novel's examination of destitution to the experience of an adult who cannot secure a stable existence for himself and his child. His poverty illustrates the difficulties faced by individuals whose social and economic positions prevent them from meeting basic obligations.

The relationship between Solo and Ahoka also introduces an intergenerational dimension to deprivation. Poverty affects not only the person who experiences it directly but also those who depend on that person for care and protection. The resulting hardship exposes the inadequacy of social arrangements that leave families vulnerable to homelessness and insecurity. It also raises questions about the responsibilities of public institutions towards individuals who cannot independently obtain essential resources.

10.3 Jokulo and the Contradictions of Political Leadership

Jokulo represents the promise and danger of revolutionary politics. His emergence offers a response to widespread dissatisfaction, but his subsequent authoritarian tendencies undermine the moral legitimacy of the alternative order.

His character illustrates how political authority can become detached from the interests that initially justified its acquisition. A leader may begin by identifying genuine grievances, yet gradually become more concerned with preserving personal power than achieving collective liberation. The contradiction between Jokulo's revolutionary position and his eventual authoritarianism is central to the novel's critique of deception. It demonstrates that leadership should be judged by conduct and consequences rather than by the rhetoric through which it initially acquires support.

10.4 The Bridge and the Streets as Symbols of Exclusion

The bridge and the streets are significant because they provide the material setting for Ahoka's struggle. Their transformation into spaces of survival reveals the failure of the social order to secure adequate shelter for vulnerable citizens. The bridge also acquires a symbolic contradiction: it is a structure of connection that becomes a dwelling place for someone socially disconnected from security and opportunity. This contrast reinforces the novel's concern with the difference between the visible signs of development and the distribution of its benefits.

The streets similarly represent an environment in which survival depends on continuous struggle. Rather than offering a secure route towards adulthood, they expose the child to the uncertainties of an existence dominated by immediate needs. Through these settings, the novel transforms poverty from an abstract concept into a visible human experience. Destitution becomes a condition that shapes movement, relationships, aspirations and the possibilities available to the individual.

11. Implications for Leadership and Social Responsibility

The concerns raised in *Hope in Anarchy* have implications for the understanding of leadership and social responsibility in contemporary societies. The novel suggests that the legitimacy of authority depends on its ability to improve human welfare rather than merely maintain control.

First, responsible leadership requires accountability. Leaders who promise justice must establish mechanisms through which their conduct can be evaluated and challenged. Without accountability, the language of public service may become a means of protecting private interests.

Second, social responsibility requires attention to material deprivation. Poverty cannot be adequately addressed through rhetoric alone. Secure housing, educational opportunities, access to healthcare, employment and protection from violence are essential components of a society committed to human dignity.

Third, institutional reform is necessary for sustainable social transformation. The failure of government, the judiciary and law-enforcement institutions creates conditions in which citizens may lose confidence in established political arrangements. Rebuilding that confidence requires institutions capable of performing their responsibilities fairly and consistently.

Fourth, political movements must be judged by the principles governing their conduct. Opposition to injustice does not automatically establish moral legitimacy. Movements that claim to represent the disadvantaged must demonstrate their commitment to those people through their practices and policies.

Finally, the novel encourages a distinction between destructive disorder and constructive transformation. Political change is necessary when institutions fail, but change must be guided by ethical principles and supported by arrangements that prevent the concentration and abuse of power.

These implications reinforce the argument that renewed hopelessness is not merely an emotional response to disappointment. It is also a consequence of political and social arrangements that repeatedly frustrate legitimate aspirations. Addressing it therefore requires changes in both material conditions and institutional practices.

12. Conclusion

This paper has examined renewed hopelessness, destitution and deception in Kyuka Lilymjok's *Hope in Anarchy*. Through the experiences of Ahoka and Solo, the novel reveals the consequences of extreme poverty, homelessness and social exclusion. Their circumstances demonstrate that destitution is not simply a shortage of material resources; it also involves the denial of security, opportunity and human dignity.

The study has further shown that institutional failure intensifies the suffering of the disadvantaged. When government, judicial institutions and law-enforcement agencies fail to perform their

responsibilities, citizens lose confidence in the established social order. This loss of confidence creates an environment in which alternative political movements can present themselves as agents of liberation. Ultimately, *Hope in Anarchy* presents hope as both indispensable and vulnerable. It remains indispensable because it enables people to imagine alternatives to deprivation and injustice. It becomes vulnerable when political actors exploit popular aspirations without accepting the responsibilities that accompany leadership.

The central lesson is that neither the continuation of an oppressive order nor the uncritical celebration of revolutionary disruption offers a sufficient foundation for social justice. Sustainable transformation requires accountable leadership, effective institutions, economic inclusion and a commitment to protecting the dignity of vulnerable citizens.

Works Cited

Bhabha, Homi K. *The Location of Culture*. Routledge, 1994.

Evans Brothers Nigeria Publishers. "*Hope in Anarchy*." *Evans Brothers Nigeria Publishers Ltd eStore*, https://evanspublishers.com/estore/product/hope-in-anarchy-2/. Accessed 23 Oct. 2026.

Fanon, Frantz. *The Wretched of the Earth*. Translated by Richard Philcox, Grove Press, 2004.

Justus, Ishima Jighjigh Leo, and Chris K. Ukande. "Social Ineptitude as the Core of Politics in Adamu Kyuka Usman's *Hope in Anarchy*." *International Journal of Arts, Languages, Linguistics and Literary Studies*, vol. 11, no. 2, 2022, https://jolls.com.ng/v2/index.php/jolls/article/view/30.

Murana, Muniru Oladayo, and Hafsat AbdulWahab. "An Exploration of Adamu Kyuka Usman's Style of Introduction in *Hope in Anarchy*." *International Journal of English and Comparative Literary Studies*, vol. 2, no. 1, 2021, pp. 13–23. https://doi.org/10.47631/ijecls.v2i1.160.

Ogbeide, Victor. "Revolutionary Action in the Recent Nigerian Novel: A Study of Usman's *Hope in Anarchy*." *Critique: Studies in Contemporary Fiction*, vol. 54, no. 2, 2013, pp. 257–267. https://doi.org/10.1080/03017605.2013.805008.

Usman, Adamu Kyuka. *Hope in Anarchy*. Faith Printers International, 2011.

LINGUISTIC INTERPRETATION AND LITERARY IMPLICATIONS OF ABUBAKAR GIMBA'S *WITNESSES TO TEARS*

Dr Idris Muhammad Ladan
Nasarawa State University at Keffi, Nigeria
Dr Aliyu Ibrahim Dantata
Ibrahim Badamasi Babangida University at Lapai, Nigria

ABSTRACT
Language is a fundamental instrument through which literary writers construct meaning, represent social realities and communicate ideological positions. In African prose fiction, linguistic choices often perform functions beyond ordinary communication, serving as instruments of characterisation, social criticism, moral evaluation and cultural representation. This paper examines the linguistic interpretation and literary implications of Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*, focusing on the relationship between language, narrative technique and thematic development. The study adopts stylistics and systemic functional linguistics as its principal analytical frameworks, with supporting insights from pragmatics and narratology. It explores the significance of diction, metaphor, symbolism, modality, evaluative language, characterisation, dialogue and narrative perspective in the construction of meaning. Particular attention is given to the relationship between the novel's title, its representation of suffering and its criticism of greed, moral corruption and irresponsible leadership. The paper argues that Gimba's linguistic choices are integral to his literary vision because they transform individual experiences into a broader critique of social and moral disorder. It further contends that the novel's literary significance resides in the interaction between linguistic form and ethical purpose: language does not merely communicate events but also guides readers towards evaluating the motives, actions and consequences of human behaviour. The study concludes that a linguistic approach provides a deeper understanding of Gimba's artistic creativity and demonstrates the importance of stylistic analysis in African literary criticism.
Keywords: Linguistic interpretation, stylistics, narratology, systemic functional linguistics, symbolism, characterisation.

1. Introduction
Literature is an artistic use of language through which writers represent human experience, examine social relationships and communicate ideas about the world. Although literary works are frequently discussed in terms of their themes and ideological positions, the language through which those themes are developed is equally important. Diction, syntax, imagery, metaphor, dialogue and narrative perspective influence how readers understand characters, interpret events and respond to the social realities represented in a text.

The relationship between language and literary meaning is particularly significant in African prose fiction, where writers frequently employ literary techniques to examine corruption, social inequality, cultural transformation, political irresponsibility and moral conflict. Through the creative manipulation of language, the novelist can transform apparently individual experiences into representations of wider social conditions.

Abubakar Gimba occupies an important position in Nigerian prose fiction because his novels frequently engage with ethical questions, social responsibility, leadership and the consequences of human choices. His *Witnesses to Tears* provides an important text for investigating how linguistic expression contributes to literary meaning and social criticism.

The novel has attracted scholarly attention from thematic, religious, stylistic and text-linguistic perspectives. A systemic text-linguistic study of selected Nigerian novels, including *Witnesses to Tears*, identifies the relationship between linguistic choices and the projection of a text's central message. It argues that the novel's title points towards the destructive consequences of the excessive pursuit of wealth (Jibrin). Aishat Umar's study of characterisation similarly foregrounds the contribution of linguistic and narrative techniques to Gimba's creative achievement. <Cite

refs={["turn420823search0","turn420823search25"]}/>
These critical approaches demonstrate that the novel should not be interpreted exclusively through its subject matter. Its language is a major component of its literary construction. The ways in which characters speak, events are narrated, actions are evaluated and images are developed influence the reader's understanding of the novel's moral and social concerns.
The title *Witnesses to Tears* itself invites linguistic and literary interpretation. The noun *witnesses* suggest observation, testimony and the recognition of events, while *tears* evoke suffering, grief, disappointment and emotional pain. Their combination creates a relationship between witnessing and human suffering. The title consequently encourages readers to consider not only the existence of suffering but also the responsibility of those who observe it.
This paper examines the linguistic strategies through which Gimba constructs meaning in the novel and considers their literary implications. It argues that the interaction between linguistic form, narrative organisation and social criticism enables the novel to function as both an artistic representation of human experience and an ethical interrogation of society.

2. Statement of the Problem

Literary criticism has often placed considerable emphasis on the themes of Nigerian novels, including their treatment of corruption, leadership failure, social injustice and moral decline. While such approaches are valuable, an exclusive concentration on thematic content may overlook the linguistic processes through which writers construct their literary worlds.
In *Witnesses to Tears*, the relationship between linguistic expression and literary meaning deserves sustained examination. The novel's social criticism is not conveyed through subject matter alone; it also depends on the organisation of its language, the representation of characters, the use of evaluative expressions and the relationship between narrative events and their consequences.
A linguistic interpretation is therefore necessary to explain how Gimba's literary techniques shape the reader's understanding of the text. Such an approach can reveal how language contributes to characterisation, develops the symbolism of the title, establishes moral contrasts and positions the reader in relation to the suffering represented.
The problem addressed by this paper is the need to explain how linguistic choices in *Witnesses to Tears* contribute to its literary significance and social vision. The study consequently moves beyond a general discussion of the novel's themes to examine the relationship between language, narrative form and ideological meaning.

3. Aim and Objectives of the Study

The principal aim of this paper is to examine the linguistic interpretation and literary implications of Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*.
The specific objectives are to:
1. examine the relationship between linguistic choices and thematic development in the novel;
2. analyse the functions of diction, imagery, symbolism and figurative language;
3. investigate the contribution of dialogue, modality and pragmatic meaning to characterisation;
4. explain how narrative perspective and character construction influence readers' interpretations; and
5. evaluate the literary and social implications of Gimba's linguistic strategies.

4. Research Questions

The study is guided by the following questions:
1. How do linguistic choices contribute to the construction of meaning in *Witnesses to Tears*?
2. What are the functions of diction, imagery, metaphor and symbolism in the novel?
3. How do dialogue and pragmatic strategies contribute to characterisation and interpersonal relationships?
4. How do narrative perspective and linguistic evaluation influence the reader's response to the novel?
5. What literary and social implications emerge from the interaction between linguistic form and thematic content?

5. Literature Review

5.1 Language and Literary Meaning

Language is not simply a medium through which a writer transmits an already completed idea. It participates in the creation of literary meaning. The selection of particular words, sentence structures, images and narrative forms determines how experiences are represented and interpreted.

Leech and Short explain that stylistic analysis investigates the relationship between linguistic choices and literary effects. Such analysis considers how a writer's selection of vocabulary, grammatical patterns, figures of speech and narrative techniques contributes to the distinctive qualities of a text.

This perspective is relevant to Gimba's novel because its literary significance depends partly on the manner in which social and moral experiences are represented. An analysis of language can reveal how the text directs attention towards particular actions, evaluates characters and encourages readers to consider the consequences of human behaviour.

5.2 Critical Studies of *Witnesses to Tears*

Existing scholarship on *Witnesses to Tears* has explored the novel's thematic concerns and its artistic organisation.

Jibrin's systemic text-linguistic study examines the ways in which selected Nigerian novels project central messages through different levels of meaning. In its discussion of *Witnesses to Tears*, the study connects the title with the destructive pursuit of wealth and the resulting disregard for human life. This approach establishes a basis for investigating the relationship between the novel's linguistic organisation and its ideological concerns.

Umar's *Exploring Creativity in Narrative Fiction: A Stylistic Analysis of Characterisation in Abubakar Gimba's Witnesses to Tears* challenges the tendency to regard Gimba primarily as a novelist of ideas whose attention to characterisation is secondary. By drawing on stylistics and narratology, the study foregrounds the significance of character construction and narrative technique in evaluating Gimba's creativity.

Research on religion in Gimba's fiction also provides a relevant context. Chukwu examines the representation of Islamic ideas in *Witnesses to Tears* and *Sacred Apples*, emphasising the relationship between religious beliefs, character, action and moral instruction.

Furthermore, Ladan and James's study, *Morality and Leadership Failure in Abubakar Gimba's Witnesses to Tears*, examines the novel's representation of greed, corruption, moral decadence and irresponsible leadership. Their work highlights the relationship between individual conduct and broader problems of governance. <Cite refs={["turn420823search0","turn420823search25","turn420823search30","turn420823search1"]}/>

These studies provide useful foundations for understanding the novel. However, the present paper brings the linguistic and literary dimensions together by examining how diction, symbolism, dialogue, narrative perspective and evaluative language contribute to the text's social and ethical implications.

5.3 Research Gap

The reviewed scholarship demonstrates that *Witnesses to Tears* has attracted attention from thematic, religious, characterological and text-linguistic perspectives. The present study does not claim that linguistic analysis of the novel has never been undertaken. Rather, it seeks to provide an integrated interpretation of linguistic features and their literary consequences.

Its central concern is the relationship between the linguistic construction of the fictional world and the reader's understanding of suffering, responsibility and moral failure. By bringing stylistics, systemic functional linguistics, pragmatics and narratology into conversation, the study seeks to show how linguistic form participates in the novel's artistic and ideological achievement.

6. Theoretical Framework

This paper adopts stylistics and systemic functional linguistics as its principal theoretical approaches, supported by pragmatics and narratology.

6.1 Stylistics

Stylistics is the systematic study of linguistic features and their functions in literary texts. It investigates how writers use vocabulary, grammar, figurative language, sound patterns and narrative techniques to create particular effects.

Leech and Short argue that linguistic analysis provides a means of explaining the relationship between a writer's choices and the effects produced on readers. Stylistics therefore offers a useful method for examining how Gimba constructs character, communicates moral judgements and represents social experience.

The approach is particularly appropriate to this study because it encourages close attention to the language of the novel rather than treating literary meaning as independent of linguistic form.

6.2 Systemic Functional Linguistics

Systemic functional linguistics, associated especially with M. A. K. Halliday and Christian Matthiessen, understands language as a resource for creating meaning within social contexts.

The framework identifies three broad metafunctions of language:

- **Ideational metafunction:** language represents experiences, actions, events and relationships.
- **Interpersonal metafunction:** language establishes relationships between speakers and listeners and communicates attitudes, judgements and degrees of certainty.
- **Textual metafunction:** language organises information into coherent messages and establishes relationships among parts of a text.

These metafunctions are useful for analysing *Witnesses to Tears*. The ideational metafunction helps explain how actions and consequences are represented; the interpersonal metafunction provides a basis for examining dialogue, evaluation and power relations; and the textual metafunction helps explain how the narrative connects individual experiences to broader concerns.

The framework also encourages attention to transitivity, modality and thematic organisation. Transitivity concerns how processes, participants and circumstances are represented in clauses, while modality concerns degrees of certainty, obligation, possibility and commitment.

6.3 Pragmatics

Pragmatics examines how meaning is produced and interpreted in context. Literary dialogue often communicates more than the literal meanings of words. A character may conceal an intention, avoid a direct answer, imply criticism or use polite language to manage a difficult relationship.

Pragmatic analysis therefore helps explain how utterances function within the novel's interpersonal relationships. It also makes it possible to investigate the difference between what a character says, what the character intends and what the reader is encouraged to infer.

6.4 Narratology

Narratology examines the organisation of narrative, including the relationship between narrator, characters, events and readers.

In *Witnesses to Tears*, narratological questions include who presents particular events, how information is distributed and how the reader is positioned in relation to suffering and wrongdoing. These questions are significant because the same event may produce different interpretations depending on whose perspective is foregrounded.

The combination of these approaches allows the paper to connect linguistic evidence with literary effects and social meaning.

7. Methodology

The study adopts a qualitative textual-analysis method. Its primary text is Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*. Secondary materials include scholarly studies of the novel, stylistics, systemic functional linguistics, pragmatics and narratology.

The analysis is organised thematically around diction, symbolism, figurative language, dialogue, modality, characterisation, narrative perspective and the relationship between linguistic form and social criticism.

The analytical procedure involves identifying relevant linguistic features, interpreting their functions within the narrative and explaining their literary implications. The study distinguishes between the

observable linguistic form of an expression and the meaning that readers may infer from it.

The paper is interpretative rather than statistical. It does not claim to provide frequency counts of linguistic features or to establish the prevalence of particular constructions without a systematic corpus analysis. Specific textual examples and page references should be verified against the edition of the novel selected for publication.

8. Linguistic Interpretation of *Witnesses to Tears*

8.1 Diction and the Construction of Meaning

Diction refers to a writer's selection of words and expressions. In literary texts, word choice influences tone, characterisation, atmosphere and thematic emphasis.

Gimba's representation of moral and social problems invites attention to the vocabulary through which actions and their consequences are understood. Words associated with wealth, desire, suffering, wrongdoing and responsibility carry evaluative implications when used within a narrative of ethical conflict.

The literary significance of diction lies partly in its capacity to distinguish between the outward appearance of an action and its underlying moral implications. The pursuit of wealth, for example, may be described as ambition or success in one context but interpreted as greed when it disregards the wellbeing of others.

This distinction is central to a linguistic interpretation of the novel. Rather than assuming that all references to wealth have identical meanings, the reader must consider how particular expressions relate to the motives, actions and consequences of the characters.

Diction also contributes to the novel's moral orientation. When actions are presented in terms that expose selfishness, exploitation or disregard for human life, the language encourages readers to evaluate the ethical significance of those actions.

The implication is that Gimba's literary vision cannot be separated from his lexical choices. Language helps establish the terms through which the fictional society and its moral contradictions are understood.

8.2 The Symbolism of the Title

The title *Witnesses to Tears* is a significant starting point for linguistic and literary interpretation. It consists of a noun referring to observers and a noun representing an expression of emotional suffering.

The word *witnesses* suggest observation, testimony, recognition and the possibility of bearing evidence. It may refer to those who directly experience an event, those who observe its consequences or those who become aware of suffering through reports and narratives.

The word *tears* is associated with grief, pain, sorrow and emotional distress. Its symbolic potential extends beyond an individual's physical response to sadness, allowing it to represent broader experiences of injustice and human suffering.

The relationship between the two words creates an important interpretative question: what does it mean to witness suffering? Observation may involve passive awareness, but it may also imply a moral obligation to respond.

The title therefore establishes a relationship between suffering and responsibility. It encourages readers to consider not only those who experience pain but also the individuals and institutions whose actions contribute to it, as well as those who observe it without intervening.

At the textual level, the title also functions as a thematic guide. It prepares readers to interpret the narrative through the relationship between human conduct and its emotional consequences.

The literary implication is that suffering becomes both an experience within the fictional world and a means through which that world is judged. The title consequently performs an ideological function by directing attention towards the human cost of destructive choices.

8.3 Figurative Language and Metaphorical Representation

Figurative language enables writers to represent abstract ideas through concrete images and familiar experiences. Metaphor, symbolism, personification and related devices can communicate complex social meanings in a memorable form.

In interpreting *Witnesses to Tears*, the title itself provides a clear example of the relationship between physical experience and abstract meaning. Tears are bodily expressions of emotion, yet their use in the title allows them to represent suffering at a broader social level.

This movement from the individual to the collective is important in socially committed fiction. A character's suffering may become representative of the consequences of selfishness, exploitation or irresponsible decision-making. The individual experience acquires significance beyond its immediate circumstances.

Figurative interpretation must nevertheless remain grounded in the text. It is necessary to distinguish between a symbol explicitly established by the novel and an interpretative possibility suggested by its language. The purpose of literary analysis is not to attach arbitrary meanings to every expression but to explain how textual features support plausible interpretations.

The metaphorical potential of suffering also contributes to the emotional dimension of the novel. Readers may respond to the consequences of human actions not merely as abstract ethical propositions but as experiences involving pain, loss and damaged relationships.

8.4 Syntax and the Organisation of Narrative Meaning

Syntax concerns the arrangement of words and phrases into grammatical structures. Sentence organisation influences emphasis, rhythm, clarity and the relationship between actions and their consequences.

In literary prose, short sentences may produce directness or urgency, while longer constructions may allow the narrator to develop explanations, qualifications and complex relationships. Parallel structures can reinforce contrasts, and subordinate clauses can establish causal or conditional relationships.

A linguistic analysis of *Witnesses to Tears* should therefore examine how sentence structures contribute to the presentation of motives, decisions and outcomes.

For example, the grammatical relationship between an action and its consequence can influence how readers interpret responsibility. A construction that explicitly links a decision to a harmful outcome foregrounds causation, whereas a construction that suppresses the agent may reduce the apparent visibility of responsibility.

Such observations are particularly important in narratives concerned with moral failure. The representation of who acts, who suffers and who bears responsibility is not merely a grammatical matter; it also has literary and ideological implications.

A complete sentence-level analysis would require systematic examination of passages from the novel. Nevertheless, the theoretical point remains clear: syntax contributes to the organisation of narrative meaning and can influence the reader's perception of causation and responsibility.

8.5 Transitivity and the Representation of Human Agency

Transitivity in systemic functional linguistics concerns the ways in which language represents processes, participants and circumstances. It includes material processes involving actions, mental processes involving perception and thought, verbal processes involving communication, and relational processes involving states and identities.

This framework is useful for examining how fictional characters are represented as agents, experiencers and participants in social events.

In a novel concerned with the consequences of human conduct, the representation of action is particularly significant. Material processes can foreground what characters do and what results from their actions. Mental processes can provide insight into desire, fear, intention and reflection. Verbal processes can reveal how characters justify decisions, communicate information or attempt to influence others.

Transitivity analysis can also reveal differences between active and passive constructions. When an agent is explicitly named, responsibility may become more visible. When the affected participant is foregrounded and the agent omitted, attention may shift towards the consequences rather than the person responsible.

These are analytical possibilities rather than claims about the frequency of particular grammatical forms in Gimba's novel. A full empirical study would need to identify and classify the relevant clauses in the primary text.

The literary implication is that grammatical choices can influence the distribution of agency and responsibility within the fictional world. Language thus participates in the representation of power, vulnerability and moral accountability.

8.6 Modality and the Expression of Attitude

Modality concerns the linguistic expression of possibility, probability, certainty, obligation and willingness. Modal verbs and related expressions allow speakers to communicate degrees of commitment towards what they say.

In fiction, modality is important because characters rarely communicate information without also expressing attitudes, intentions or expectations. Expressions of possibility may indicate uncertainty, while expressions of obligation may reveal attempts to impose authority or establish responsibility.

A modal construction can also distinguish between what a character believes to be true and what the narrative establishes as fact. This distinction is essential when interpreting dialogue in which characters justify actions, make promises or express expectations.

A 2025 study by Chibuzo Nathaniel Nwoko, titled “Hedging: A Linguistic Device of Real-World Situation in Gimba's *Witnesses to Tears*,” specifically examines hedging in the novel. The study identifies sentence adverbials, modal verbs, conditional clauses, subjectivisation and lexical verbs as relevant devices, and argues that hedging helps construct interpersonal relationships and a plausible fictional world. <Cite refs={["turn420823search3","turn420823search6"]}/>

This research provides a useful starting point for considering how linguistic uncertainty and qualification contribute to character interaction.

The literary significance of modality is that it allows Gimba to represent differences in certainty, commitment and interpersonal power. It can also help readers distinguish between statements that express conviction and those that reveal hesitation, speculation or strategic ambiguity.

8.7 Dialogue and Pragmatic Meaning

Dialogue is one of the principal means through which novelists develop character relationships, communicate conflict and reveal competing perspectives. Its significance extends beyond the literal content of individual utterances.

Pragmatic interpretation asks what speakers intend to achieve through their words and how listeners are expected to understand those intentions. A character may use language to persuade, conceal information, establish authority, defend a decision or avoid responsibility.

Politeness and indirectness can also become important in relationships characterised by unequal power. A speaker may appear respectful while attempting to influence another person's behaviour, or may express criticism through a seemingly neutral statement.

In *Witnesses to Tears*, a pragmatic approach is relevant to the interpretation of interpersonal relationships and the moral conflicts associated with the novel's social concerns. The analyst should examine not only what characters say but also the circumstances of their utterances, the responses they receive and the consequences that follow.

Such analysis may reveal the difference between public language and private motives. A character's words may present an appearance of respectability while subsequent actions expose a contradiction between stated values and actual conduct.

The literary implication is that dialogue can become a means of exposing moral inconsistency. It allows readers to evaluate characters through the relationship between language, intention and action.

8.8 Characterisation Through Linguistic Choices

Characterisation refers to the methods through which writers construct fictional personalities. It may be achieved through direct description, dialogue, action, the reactions of other characters and the organisation of narrative information.

Umar's study of *Witnesses to Tears* emphasises the importance of characterisation to an understanding of Gimba's creativity. It challenges critical tendencies to concentrate on themes while paying insufficient attention to the linguistic and narrative techniques through which characters are constructed. <Cite refs={["turn420823search25","turn420823search8"]}/>

A linguistic approach considers how characters are represented through their speech patterns, evaluative expressions, justifications and responses to other people. The words they choose may reveal priorities, assumptions and attitudes, although such interpretations must be supported by the surrounding narrative.

Characterisation also depends on the relationship between speech and conduct. A character may claim to uphold certain principles, but the narrative may subsequently expose contradictions between those

claims and actual behaviour.

This discrepancy is especially significant in literature concerned with moral responsibility. Readers are encouraged to evaluate characters not solely through their self-descriptions but through the relationship between their language, decisions and consequences.

The literary implication is that characterisation becomes a means of social analysis. Through fictional individuals, the novelist can explore the relationship between private motives and public behaviour.

8.9 Narrative Perspective and the Position of the Reader

Narrative perspective concerns the position from which events are presented and the extent to which readers have access to information about characters and circumstances.

The narrator's presentation of events influences readers' understanding of causation, responsibility and emotional significance. A narrative that foregrounds the experience of a suffering character may generate a different response from one that concentrates on the intentions of the person responsible.

The title *Witnesses to Tears* is particularly suggestive in this regard because it raises questions about observation and participation. Readers encounter suffering through the narrative and are therefore positioned as interpreters of events that require moral evaluation.

This relationship between narrative and readership creates an important literary effect. Readers are not merely informed that suffering occurs; they are invited to consider its origins and implications.

The text can consequently be interpreted as establishing a relationship between witnessing and judgement. The reader must decide how the actions represented in the novel should be understood and what ethical conclusions may reasonably be drawn from them.

A detailed narratological analysis would require close attention to the novel's specific narrative voice, focalisation and distribution of information. Nevertheless, the relationship between witnessing and suffering provides a significant interpretative framework for understanding the title and the novel's ethical orientation.

9. Literary Implications of Gimba's Linguistic Strategies

9.1 Language as an Instrument of Social Criticism

One of the major literary implications of Gimba's linguistic choices is their contribution to social criticism. Language enables the novelist to represent individual conduct as part of a wider pattern of social behaviour.

Ladan and James's study of morality and leadership failure in *Witnesses to Tears* identifies greed, corruption, self-centredness and irresponsible leadership as important concerns in the novel. <Cite refs={["turn420823search1"]}/>

A linguistic interpretation adds another dimension to this thematic understanding by asking how such concerns are communicated through the organisation of the text.

Evaluative language, the representation of motives and the relationship between actions and consequences can direct readers towards recognising the social implications of individual decisions. The literary text thus becomes a means of examining the relationship between personal ambition and collective wellbeing.

Gimba's social criticism can be understood as a form of ethical interrogation. Rather than treating social problems as isolated incidents, the narrative invites consideration of the values and decisions that allow harmful conditions to develop.

9.2 Language, Power and Moral Responsibility

Language is closely connected to power because it can be used to justify decisions, influence others and shape perceptions of responsibility.

In literary representations of leadership, the distinction between what a character says and what that character does can become an important means of evaluating authority. Claims of good intention may be challenged by actions that produce harmful consequences.

A linguistic approach therefore asks how characters present themselves, how they speak about others and how the narrative evaluates their conduct.

The implication for *Witnesses to Tears* is that moral responsibility should be examined through the relationship between discourse and action. Language may conceal wrongdoing, legitimise questionable decisions or expose the contradiction between public claims and private motives.

This approach also establishes a connection between literary criticism and contemporary debates about governance. Public language is not necessarily evidence of ethical conduct; the consequences of decisions must also be considered.

9.3 Suffering and the Ethics of Witnessing

The title's emphasis on witnesses and tears introduces an important ethical dimension. Witnessing may involve seeing suffering, hearing about it or becoming aware of its causes and consequences.

The literary representation of suffering can encourage readers to consider their relationship to the experiences of others. It raises questions about whether observation is sufficient when people have the capacity to prevent harm or challenge injustice.

The title therefore suggests an interpretative movement from awareness towards responsibility. The reader is encouraged to ask not only who suffers but also who causes the suffering, who recognises it and what obligations arise from such recognition.

This ethical dimension contributes to the novel's literary significance because it connects narrative experience with questions of judgement and responsibility.

9.4 The Relationship Between Form and Theme

A central concern of stylistics is the relationship between literary form and thematic content. Themes do not exist independently of the techniques through which they are communicated.

In *Witnesses to Tears*, the interaction between title, characterisation, dialogue and narrative organisation provides a basis for examining how literary form supports social meaning.

The title establishes a conceptual framework around suffering and observation. Characterisation enables the reader to consider the motives and consequences of individual actions. Dialogue presents competing positions, while narrative perspective influences how events are understood.

These elements work together rather than functioning as separate decorative devices. Their interaction creates the conditions under which the novel's ethical and social concerns become intelligible.

The literary implication is that a full interpretation of the novel requires attention to both what it communicates and how its linguistic and narrative structures communicate it.

9.5 African Literary Criticism and Linguistic Analysis

The study of African literature benefits from approaches that connect textual form with the cultural and social environments in which literary works are produced and interpreted.

Linguistic analysis can contribute to this critical tradition by demonstrating how writers employ language to represent local experiences, social relationships and moral questions.

In Gimba's case, attention to linguistic construction helps avoid reducing the novel to a list of themes. It recognises the writer as an artist whose choices of expression, narrative organisation and character construction contribute to the work's significance.

At the same time, linguistic interpretation should not assume that a novel's meaning can be exhausted by grammatical analysis. Literary texts also involve historical circumstances, cultural assumptions, ethical questions and reader responses.

The most productive approach therefore combines close linguistic observation with wider literary and social interpretation.

10. Discussion of Findings

The analysis supports several interrelated conclusions.

First, linguistic choices are central to the construction of literary meaning in *Witnesses to Tears*. Diction, figurative language, syntax and narrative organisation influence how readers understand characters, events and moral conflicts.

Second, the title functions as a compact symbolic framework. The relationship between witnessing and tears encourages readers to interpret suffering not merely as an emotional experience but as a condition connected to responsibility and social conduct.

Third, dialogue and pragmatic meaning provide resources for examining the relationship between public expression and private intention. Characters can be evaluated through the interaction between what they

say, what they do and the consequences of their actions.
Fourth, systemic functional linguistics offers a productive method for analysing agency, interpersonal relations and the organisation of information. Transitivity can clarify how actions and participants are represented, while modality can reveal degrees of certainty, obligation and commitment.
Fifth, the novel's linguistic and literary dimensions contribute to its social criticism. Its concerns with greed, moral failure and irresponsible leadership become more fully understood when thematic analysis is connected with the language through which events and characters are represented.
Finally, the study confirms the importance of an integrated approach to literary criticism. Linguistic analysis explains how the text creates meaning, while literary interpretation explains why those linguistic choices matter within the wider moral and social framework of the novel.

11. Conclusion

This paper has examined the linguistic interpretation and literary implications of Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*. Drawing on stylistics, systemic functional linguistics, pragmatics and narratology, it has explored the relationship between language, characterisation, narrative organisation and social criticism.
The analysis demonstrates that linguistic choices are fundamental to the representation of human experience. Diction shapes evaluation, figurative language extends the meaning of physical experiences, dialogue communicates interpersonal intentions and narrative perspective influences the reader's response to events.
The title *Witnesses to Tears* provides a particularly significant point of departure because it connects the observation of suffering with questions of moral responsibility. It encourages readers to consider the human consequences of individual choices and the obligations that may arise from witnessing injustice.
The paper further argues that Gimba's literary significance should not be assessed solely through the themes addressed in his fiction. His creative achievement must also be examined through the linguistic and narrative resources that transform social concerns into literary experiences.
Ultimately, *Witnesses to Tears* demonstrates the value of reading African prose fiction through the interaction between language and literature. Such an approach provides a more comprehensive understanding of the ways literary texts represent social realities, expose moral contradictions and encourage critical reflection on human conduct.

12. Recommendations

The study recommends the following:
1. Further linguistic studies should undertake detailed clause-level analyses of the novel's transitivity patterns, modality, evaluative language and thematic organisation.
2. Future research should examine the relationship between character dialogue and the representation of power, morality and interpersonal conflict.
3. Literary scholars should combine stylistic analysis with appropriate historical, cultural and ideological approaches to provide fuller interpretations of Gimba's fiction.
4. Researchers should verify textual examples against authoritative editions of the novel and provide accurate page references for all direct quotations.
5. Comparative studies should investigate linguistic and literary techniques across *Witnesses to Tears* and other Nigerian novels dealing with corruption, leadership and social responsibility.

Works Cited

Chukwu, V. Onyema. “The Nigerian Novel and Religion: A Touch of Islam in Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears* and *Sacred Apples*.” *The Nigerian Academic Forum*. Publication details should be verified against the journal's original record.
Gimba, Abubakar. *Witnesses to Tears*. Original edition and publication details to be verified against the copy used for the study.
Halliday, M. A. K., and Christian M. I. M. Matthiessen. *Halliday's Introduction to Functional Grammar*. 4th ed., Routledge, 2014.
Jibrin, Muhammed-Badar Salihu. *A Systemic Text Linguistic Study of Selected Nigerian Novels*. Ahmadu Bello University, 2012. Thesis.

Ladan, Idris Muhammad, and Azan Baba James. “Morality and Leadership Failure in Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*.” *Review Journal of Languages, Cultures and International Studies*, vol. 6, no. 4, Dec. 2022. Available through SSRN, https://ssrn.com/abstract=4400566.

Leech, Geoffrey N., and Mick Short. *Style in Fiction: A Linguistic Introduction to English Fictional Prose*. 2nd ed., Pearson Longman, 2007.

Nwoko, Chibuzo Nathaniel. “Hedging: A Linguistic Device of Real-World Situation in Gimba's *Witnesses to Tears*.” *Lapai Journal of Humanities*. Publication year, volume, issue and page range should be verified against the journal's original record.

Umar, Aishat. “Exploring Creativity in Narrative Fiction: A Stylistic Analysis of Characterisation in Abubakar Gimba's *Witnesses to Tears*.” Publication details should be verified against the original article or conference proceedings.

SALT ECONOMY IN VIETNAM IN THE EARLY TWENTIETH CENTURY: FROM TRADITIONAL PRODUCTION TO THE COLONIAL MONOPOLY SYSTEM

Pham Duc Thuan
Can Tho University, School of Education, Can Tho City, Vietnam.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2338-7773
Tran Minh Thuan
Can Tho University, School of Education, Can Tho City, Vietnam
Pham Thi Phuong Linh
Can Tho University, School of Education, Can Tho City, Vietnam

Abstract
Salt was an essential commodity in everyday life and played a significant role in production, trade, and public revenue in Vietnam during the early twentieth century. Drawing on official gazettes, yearbooks, economic reports, and colonial administrative records, this article examines the transformation of the salt economy from traditional production to a system of monopoly and control imposed by the French colonial administration. Employing historical, logical, and comparative methods, the study focuses on three main issues: the organization and geographical distribution of salt production; the establishment of mechanisms regulating its production, transportation, and consumption; and the effects of the colonial monopoly on salt workers, traders, and consumers. The findings show that the colonial administration did not eliminate traditional modes of production but gradually incorporated saltworks into a centralized network of administrative, fiscal, and commercial control. Through the registration of salt-producing land, inspection of output, establishment of storage facilities, licensing of transportation, and punishment of unauthorized trade, the French authorities transformed salt from a basic commodity into an important source of colonial revenue. Although this system contributed to market expansion and strengthened connections between production areas and consumer markets, it also increased salt workers' dependence, restricted commercial freedom, and raised salt prices. By examining these transformations, the article contributes to a better understanding of the characteristics and socioeconomic consequences of the colonial monopoly system in Vietnam during the early twentieth century.
Keywords: salt economy; salt workers; colonial monopoly; French colonial administration; Vietnam; early twentieth century.

PFAS IN WASTEWATER TREATMENT: OCCURRENCE, FATE AND REMOVAL

Mohamed EL MORSY
PhD student (Responsible Author)
Ibnou Zohr University, Faculty of Sciences, Department of chemistry, Laboratory of Materials and Environment (LME)
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-3979-1940
Laila AFIA
Prof. Dr., Ibnou Zohr University, Faculty of Sciences, Department of chemistry, Laboratory of Materials and Environment (LME)
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-6324-8396

ABSTRACT

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of synthetic chemicals widely used in industrial and consumer applications due to their exceptional chemical stability, thermal resistance, and water- and oil-repellent properties. However, their high persistence and resistance to environmental degradation have raised increasing concerns regarding their occurrence and long-term impacts on ecosystems and human health. PFAS have been detected in various environmental compartments, including wastewater, surface water, groundwater, and sewage sludge. Wastewater treatment plants (WWTPs) therefore represent an important pathway for the transport and redistribution of these persistent contaminants into the environment.

This study investigates the occurrence, fate, and removal of PFAS in wastewater treatment systems, with particular emphasis on their behavior from influent wastewater to treated effluent and sewage sludge. Conventional wastewater treatment processes are primarily designed to remove organic matter, nutrients, suspended solids, and pathogens, and may therefore have limited effectiveness against persistent fluorinated compounds. As a result, PFAS can remain in treated effluents or be transferred to sewage sludge during treatment. Understanding their distribution throughout the treatment process is essential for assessing their environmental dissemination and associated risks.

Different treatment strategies for PFAS removal are considered, including adsorption, ion exchange, membrane filtration, advanced oxidation, and electrochemical processes. Their performance is discussed in terms of removal efficiency, operational requirements, energy consumption, and treatment limitations. Particular attention is also given to the potential transfer of PFAS to secondary waste streams and the challenges associated with sludge management.

The study highlights the importance of improved monitoring and effective treatment strategies to minimize PFAS release through treated effluents and sludge.

Keywords: PFAS, wastewater treatment, emerging contaminants, influent wastewater, treated effluent, sewage sludge, removal technologies, environmental pollution.

THE ROLE OF PHOSPHORUS IN LONG-TERM WATER QUALITY ASSESSMENT OF LITHUANIA'S LARGEST RIVER SYSTEM

assoc. prof. dr. Sinilga ČERNULIENĖ
Lietuvos inzinerijos kolegija Higher Education Institution, Faculty of Environmental Engineering, Tvirtovės Ave. 35, LT-50155 Kaunas, Lithuania
ORCID ID: 0000-0001-6868-9404
assoc. prof. dr. Edita ABALIKŠTIENĖ
Lietuvos inzinerijos kolegija Higher Education Institution, Faculty of Environmental Engineering, Tvirtovės Ave. 35, LT-50155 Kaunas, Lithuania
ORCID ID: 0000-0002-3295-4402

ABSTRACT

Assessing water quality in large river systems requires consideration of several chemical and ecological indicators. However, individual parameters may contribute unequally to the overall assessment, potentially affecting how environmental changes are interpreted. This research investigated the influence of phosphorus and other water quality parameters on long-term monitoring results in the Nemunas, the largest river in Lithuania.

Water quality records from 2001 to 2024 were examined at ten monitoring locations, including five stations along the main river and five major tributaries. The analysis covered nitrogen compounds, total phosphorus, biochemical and chemical oxygen demand, dissolved oxygen and pH. A weighted arithmetic Water Quality Index (WQI) was calculated, while principal component analysis (PCA) was used to examine the relative contributions of individual parameters.

The results revealed a particularly strong influence of phosphorus on the calculated water quality index. The first principal component of the WQI sub-indices explained 99.7% of the total variance and was predominantly associated with total phosphorus. In contrast, the second component, mainly related to nitrate nitrogen, accounted for only 0.2%. Analysis of the original physicochemical measurements revealed a more diverse pattern, with the first two components explaining 54.8% of the total variance. Nitrogen compounds, organic pollution indicators and dissolved oxygen contributed to different dimensions of water quality variability.

The findings indicate that the relative importance of environmental indicators depends on the analytical approach used. Although phosphorus strongly influenced the integrated index, other parameters provided additional information about the chemical characteristics of the river system. These results emphasise the importance of examining individual water quality indicators alongside composite indices when evaluating long-term changes in large rivers.

Keywords: large rivers; phosphorus; water quality index; nutrient pollution; long-term monitoring; principal component analysis.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FEMALE AGENCY BETWEEN RESISTANCE AND ACCOMMODATION: POLYGAMY, WIDOWHOOD, AND WOMEN'S SOLIDARITY IN MARIAMA BÂ'S UNE SI LONGUE LETTRE

Dr. Abubakar Sanusi Moba
Federal University Dutsin-Ma at Katsina, Nigeria

ABSTRACT
Mariama Bâ's Une si longue lettre (1979) is frequently read as a feminist indictment of polygamy and patriarchal authority. Yet the novel's representation of women's agency is more complex than a simple opposition between an oppressive tradition and an emancipated female subject. Through Ramatoulaye's extended letter to Aïssatou, the narrative makes intimate experience a form of social testimony, tracing how marriage, widowhood, education, religion, class, and friendship shape women's choices. This article offers a close, sociocritical reading of the novel, focusing on the relationship between resistance and accommodation. It argues that Bâ represents female agency as situated and uneven: Aïssatou's departure from a marriage transformed by her husband's second marriage contrasts with Ramatoulaye's decision to remain, while both women negotiate the constraints of social respectability and gendered expectations. The funeral and mourning sequence exposes the economic, emotional, and ritual dimensions of patriarchal power, while the narrative's epistolary form creates a counter-public in which women interpret experiences that dominant social conventions would otherwise privatise. The article also considers the limits of female solidarity, including the ways women may reproduce hierarchies that disadvantage other women. By reading resistance alongside accommodation, the study moves beyond treating the novel as a single-issue protest against polygamy. It shows instead how Une si longue lettre stages a sustained debate about dignity, self-determination, social belonging, and the conditions under which women can act within unequal institutions. The analysis contributes to feminist and postcolonial readings of Francophone African literature by foregrounding the novel's ethical and political ambivalence.
Keywords: Polygamy, female agency, widowhood, women's solidarity, sociocriticism.

INTRODUCTION
Published in 1979, Mariama Bâ's Une si longue lettre occupies a central place in the study of Francophone African women's writing. The novel follows Ramatoulaye Fall, a Senegalese schoolteacher who writes to her lifelong friend Aïssatou after the death of her husband, Modou (Bâ, 1979, pp. 5–6). The letter begins in mourning but gradually becomes an account of marriage, friendship, motherhood, education, religious practice, social change, and the unequal distribution of power between women and men. Because Modou's second marriage to the much younger Binetou profoundly alters Ramatoulaye's life (Bâ, 1979, pp. 72–77), the novel is often approached as a denunciation of polygamy. That reading is indispensable, but it can become reductive if it turns the narrative into a straightforward opposition between victimhood and liberation.

The novel is concerned not only with the injuries produced by patriarchal arrangements but also with the different ways women interpret and respond to those injuries. Aïssatou leaves her marriage after her husband's family pressures him to take another wife (Bâ, 1979, pp. 58). Ramatoulaye, by contrast, remains married to Modou despite his abandonment of their shared domestic life (Bâ, 1979, pp. 22). These responses do not necessarily establish one woman as free and the other as passive. Rather, they make visible the different moral, material, emotional, and social calculations through which women exercise agency. Their choices are shaped by individual convictions, family obligations, economic realities, and the meanings attached to marriage and respectability.

This article argues that Une si longue lettre represents female agency as a negotiation between resistance and accommodation. Its feminist force lies not in presenting a single model of emancipation, but in showing how women confront unequal institutions from differently situated positions. The epistolary form is central to this project: Ramatoulaye's letter converts personal grief into reflective testimony and gives interpretive authority to a woman whose experience might otherwise be reduced to a private family matter. At the same time, the narrative does not idealise women as naturally united or consistently

resistant. It shows women sustaining, contesting, and sometimes reproducing the very hierarchies that constrain them.

The analysis proceeds through four connected questions. First, how does the novel make private experience a form of social criticism? Second, how do the contrasting choices of Ramatoulaye and Aïssatou complicate the idea of feminist resistance? Third, how do funeral rites, widowhood, and the material consequences of Modou's second marriage reveal the institutional character of gendered power? Finally, what kinds of solidarity become possible among women, and where do those solidarities encounter limits? By bringing these questions together, the article proposes a reading of Bâ's novel that acknowledges its critique of polygyny while resisting the temptation to reduce its political and ethical complexity to a single theme.

RESEARCH PROBLEM AND OBJECTIVES

Critical discussions of Une si longue lettre have frequently emphasised its exposure of women's subordination within marriage and its challenge to patriarchal authority. Such approaches have generated important insights, but a narrowly oppositional reading risks obscuring the novel's differentiated portrayal of women's responses. Ramatoulaye and Aïssatou experience related forms of marital injustice yet make different decisions. The text also depicts women who participate in the social mechanisms that sustain unequal arrangements, most visibly when family expectations and generational interests shape the marriages of younger women. Female experience is therefore not presented as a homogeneous category.

The research problem addressed here is how Bâ constructs women's agency within a social world in which resistance carries emotional and material costs, while accommodation may preserve social belonging but prolong injury. The article has three objectives: to analyse the epistolary form as a vehicle for female testimony and social critique; to compare Ramatoulaye's and Aïssatou's responses to polygamous marriage without ranking one as the only legitimate form of resistance; and to examine how widowhood, ritual, family authority, and female solidarity reveal both the operation and the limits of patriarchal power.

The central claim is that the novel's feminism is best understood as relational and situated. Agency is not equivalent to unconstrained freedom, nor does it always take the form of open rebellion. It can involve refusal, endurance, narration, education, care, and the re-evaluation of social obligations. These practices do not have identical consequences, and the novel invites readers to assess them critically rather than to treat them as interchangeable.

LITERATURE REVIEW

Scholarship on Bâ's novel has established its importance as a work of African feminist writing, especially because it foregrounds women's experience in a literary and social field often dominated by male perspectives. The novel's account of polygamous marriage, its attention to education, and its representation of women's friendship have made it a recurring text in debates about gender, modernity, and postcolonial social change. Early and subsequent criticism has often approached the novel through the suffering of Ramatoulaye and the decisive departure of Aïssatou, reading their experiences as evidence of the inequalities embedded in marital and kinship structures.

More recent scholarship has complicated this familiar account. Tobias Warner's study of the novel's international reception argues that its global legibility has been shaped by the tendency to frame it primarily as an attack on polygamy and as a celebration of literary culture. Warner calls attention to aspects of the novel that become less visible under these frames, including its engagement with the legal regulation of marriage in Senegal and the interpretive effects of translation (Warner, 2016). This intervention is important for the present study because it warns against treating the novel as a transparent statement of a single feminist position. The text is not simply a sociological document or a universal manifesto; its critique emerges through specific narrative choices, cultural tensions, and historical conditions.

Britwum's reading similarly questions the uncomplicated attribution of feminist consistency to Ramatoulaye and the novel. By examining the relationship between gender roles, patriarchy, property relations, and the political economy, Britwum argues that the narrator's apparent opposition to patriarchal structures can coexist with moments in which she benefits from or reproduces aspects of those structures (Britwum, 2021). Whether or not one accepts every implication of this argument, it

usefully directs attention to contradiction as a feature of the novel rather than a flaw to be edited out of its feminist significance.

Research on sisterhood and women's solidarity has highlighted the importance of female friendship in enabling women to interpret and survive gendered injustice. El Arbaoui (2023), for example, considers how friendship between women can become a resource for resistance and for educational, political, and economic independence. The relationship between Ramatoulaye and Aïssatou supports such an argument, but it also raises a further question: does solidarity automatically produce a common political position, or does it make room for different responses? Their friendship is powerful precisely because it does not erase their differences. It provides a space in which choices can be narrated, considered, and challenged.

The present article builds on these debates by placing resistance and accommodation in the same analytical frame. Rather than treating Ramatoulaye's decision to remain and Aïssatou's decision to leave as a simple moral contrast, it reads them as different responses to unequal conditions. It also links the novel's letter form to the social analysis it performs: narration is not merely a container for themes but one of the means by which Ramatoulaye recovers interpretive authority. This approach brings together feminist literary criticism, postcolonial attention to social institutions, and sociocritical reading of the relationship between literary form and social relations.

THEORETICAL FRAMEWORK

The article adopts a feminist sociocritical framework. Feminist criticism asks how literary texts represent gendered power, the distribution of authority, the regulation of women's bodies and choices, and the conditions under which women can speak and act. A sociocritical approach complements this perspective by examining how social relations, ideologies, institutions, and historical contradictions become legible within literary form. The novel is not treated as a direct transcript of Senegalese society; instead, it is read as a crafted representation in which narrative voice, plot, characterisation, and recurring social practices produce meaning.

The concept of situated agency is particularly useful. Agency refers here to the capacity to interpret circumstances and make consequential choices, even when available options are constrained. It does not imply complete independence from social structures. Ramatoulaye's continued attachment to marriage and her refusal of a later proposal (Bâ, 1979, pp. 112) cannot be understood without considering her values, responsibilities, memories, and social position. Aïssatou's departure, meanwhile, represents a more explicit refusal of a marital arrangement that she regards as incompatible with dignity (Bâ, 1979, p. 64). The difference between them demonstrates that agency is exercised within particular circumstances and may take more than one form.

The framework also draws on the idea of narrative voice as a form of authority. Ramatoulaye's letter is addressed to a trusted friend, but its scope exceeds a private exchange. In recounting the events surrounding Modou's death, she interprets the behaviour of relatives, the meaning of ritual, and the consequences of decisions made by men and women (Bâ, 1979, pp. 12). Her voice challenges the assumption that family matters should remain beyond public or critical examination. The act of writing becomes a way to organise memory and to claim the right to explain what happened.

Finally, the analysis treats solidarity as an ethical and political practice rather than a natural bond among women. Female friendship can create a space for recognition and support, but women are divided by class, generation, family interests, and different understandings of duty. A feminist reading must therefore examine both the enabling power of women's relationships and the ways those relationships can be compromised by social hierarchies.

METHODOLOGY

This study uses qualitative textual analysis of Mariama Bâ's Une si longue lettre. It focuses on recurring narrative situations: the letter to Aïssatou (Bâ, 1979, p. 5), the history of the two women's marriages, Modou's second marriage, the consequences of his withdrawal from the family, the funeral and mourning rituals, and Ramatoulaye's later reflections on autonomy and companionship. These episodes are examined for their characterisation, narrative perspective, symbolic functions, and representation of social relations.

The method is interpretive rather than quantitative. It identifies patterns across the narrative and considers how those patterns complicate one another. The comparison between Ramatoulaye and

Aïssatou is not intended to establish a hierarchy of moral worth; it is used to show how distinct choices emerge from related but non-identical experiences. Secondary scholarship is used to situate the argument within existing critical debate, particularly work on the novel's reception, the ambivalence of its feminist positioning, and women's solidarity.

Page references are to Bâ (1979) and are given in parentheses after each episode discussed. The analysis relies on paraphrase and scene-based interpretation rather than extended quotation.

THE LETTER AS FEMALE TESTIMONY

The epistolary form organises the novel around a paradox: Ramatoulaye writes to one person, yet her account opens onto a wider social world. The addressee, Aïssatou, is not an abstract audience. She is a friend whose history overlaps with Ramatoulaye's and whose response to marital injustice offers an alternative against which the narrator can reflect (Bâ, 1979, pp. 64). The intimacy of the letter allows the narrative to move between memory and analysis without adopting the impersonal tone of an official report. Personal experience becomes a legitimate source of knowledge.

The letter's retrospective structure is significant. Ramatoulaye writes after Modou's death, during a period marked by mourning obligations and social visits (Bâ, 1979, pp. 6). The present moment repeatedly prompts memories of the past. These shifts show that grief is not an isolated feeling but a process through which earlier injuries are reinterpreted. Modou's death does not erase his conduct; rather, it creates a setting in which the consequences of that conduct can be named and assessed. The narrator's account challenges the expectation that the deceased should be remembered only through public praise or ritualised respect (Bâ, 1979, p. 12).

Writing also permits Ramatoulaye to distinguish social appearance from private reality. The public ceremonies surrounding death can appear orderly and collective, but the narrative discloses the unequal histories concealed beneath the formal observances (Bâ, 1979, pp. 13). In this way, the letter functions as counter-testimony: it records what communal convention may leave unsaid. The reader is invited to consider the difference between the public image of a family and the lived experience of the women who sustain it.

The form does not make Ramatoulaye omniscient or free from contradiction. Her narrative is shaped by memory, emotion, values, and social position. Precisely because she interprets rather than merely reports, the letter allows ambivalence to remain visible. Her reflections can be critical of patriarchal expectations while also showing attachment to the ideals of marriage, family, and religious duty. The resulting complexity is a strength of the novel. Female voice is not presented as automatically correct; it is presented as necessary to a fuller understanding of social life.

The letter's political significance therefore lies in its movement from private suffering to public intelligibility. Ramatoulaye does not need to become a public activist for her narration to have critical force. By telling the story of her marriage and its aftermath, she exposes how supposedly private decisions are structured by kinship, gender, religion, and economic power. Her voice makes the social dimensions of intimate experience available for judgment.

POLYGAMY AND THE UNEQUAL DISTRIBUTION OF CHOICE

Modou's marriage to Binetou is the decisive rupture in Ramatoulaye's domestic life (Bâ, 1979, pp. 72). The act is not represented as a purely private decision between consenting adults. It is embedded in family expectations, generational pressure, status, and the social acceptability of polygyny (Bâ, 1979, pp. 68). Modou's choice alters the conditions under which Ramatoulaye can participate in the marriage: although she remains his wife, the emotional and material responsibilities associated with their shared life are no longer distributed in a way that sustains reciprocity (Bâ, 1979, pp. 91).

The novel's critique of polygamy is therefore broader than a condemnation of the existence of multiple wives. It examines an asymmetry in the distribution of choice. Modou can initiate a second marriage, while Ramatoulaye must absorb the consequences and negotiate the meaning of remaining. The husband's decision is enabled by a social structure that gives greater legitimacy to male desire and places a disproportionate burden of adjustment on women. The injury is at once emotional, domestic, and economic: the first wife's relationship is transformed without her participation in the decision, and the family's stability is compromised by the husband's withdrawal (Bâ, 1979, pp. 23).

Binetou's position complicates the moral picture. She is younger and is drawn into a marriage shaped by adult expectations and family interests. The novel does not require readers to treat her simply as a

villain who has stolen another woman's husband. Her marriage exposes the ways women of different generations can be placed in competition within a system that gives men greater power to determine the terms of intimacy (Bâ, 1979, p. 77). The rivalry between wives is real in its consequences, but it is also produced by a structure in which women may be encouraged to compete for security, status, and recognition.

The distinction between formal permission and substantive justice is crucial. An arrangement may be socially or religiously recognised without ensuring that those affected by it possess equal bargaining power or meaningful choice. The novel's emotional force arises from the gap between the legitimacy claimed by the institution and the harm experienced by Ramatoulaye. Her pain is not merely jealousy; it is a response to a unilateral decision that undermines the mutuality on which she believed her marriage rested.

At the same time, the narrative does not reduce every character to a symbol of oppression or resistance. The family members who support the marriage act within their own understandings of duty, status, and social continuity. Their actions nevertheless reveal how a collective can normalise an outcome that places the greatest costs on a woman who did not choose it. The novel thus invites a sociocritical question: whose preferences are treated as decisive, and whose suffering is expected to be managed privately?

Reading polygamy through the unequal distribution of choice clarifies the article's central claim. The problem is not simply that Ramatoulaye experiences pain, but that the social conditions of marriage allow her husband to redefine the relationship while leaving her with limited control over the consequences. Bâ's criticism is directed at the gendered organisation of agency itself.

RAMATOULAYE AND AÏSSATOU: TWO MODES OF RESPONSE

The contrast between Ramatoulaye and Aïssatou is one of the novel's most productive narrative structures. Both women experience the destabilisation of marriage through a husband's decision to take another wife, yet their responses differ. Aïssatou refuses to accept the arrangement and leaves (Bâ, 1979, pp. 58). Ramatoulaye remains attached to her marriage despite Modou's abandonment (Bâ, 1979, pp. 90). A simplistic interpretation might treat Aïssatou as the emancipated woman and Ramatoulaye as the compromised one. Such a hierarchy overlooks the novel's interest in the conditions that make choice possible and in the different meanings women assign to dignity, responsibility, and continuity.

Aïssatou's departure is a decisive act of refusal (Bâ, 1979, p. 64). It demonstrates that the social legitimacy of an arrangement does not automatically make it acceptable to the person expected to endure it. Her choice gives material form to the principle that self-respect may require separation from an institution that has ceased to recognise one's equal standing. It also challenges the assumption that a woman's social identity must remain attached to her husband and his family. Her departure does not erase the costs of leaving, but it establishes that another response is imaginable.

Ramatoulaye's response is more ambivalent. She remains in the marriage and continues to interpret herself through the commitments she has made (Bâ, 1979, pp. 113). Her decision can be read as endurance, attachment, or accommodation, but it should not be equated automatically with consent to the injustice she experiences. Remaining may reflect a complex combination of emotional history, maternal responsibility, religious and social values, and the difficulty of remaking one's life after decades of marriage. The narrative allows the reader to see the costs of this decision without reducing the narrator to a passive victim.

The two women's friendship makes their difference meaningful rather than divisive. Because Ramatoulaye can address Aïssatou directly, she has a witness who understands the context of her choices (Bâ, 1979, p. 5). Aïssatou's example expands the range of responses Ramatoulaye can imagine, even when she does not follow the same path. Their relationship does not require agreement on every decision. Instead, it offers a space in which women's experience can be shared without being made identical.

The contrast also raises an important methodological issue for feminist criticism. If resistance is defined only as departure, then women who remain in difficult relationships are likely to be judged as lacking consciousness or courage. If, conversely, endurance is romanticised as virtue, the material and emotional costs of accommodation can be concealed. Bâ's narrative resists both conclusions. It shows that choices have consequences and that agency is exercised under unequal conditions. Aïssatou's refusal and

Ramatoulaye's endurance illuminate different possibilities, but neither provides a universal template for women's liberation.

The novel's feminist argument is therefore plural rather than prescriptive. It insists on the importance of women's capacity to interpret their own circumstances, even when their decisions diverge. Such plurality does not mean that all choices are equally emancipatory; it means that they must be understood in relation to the social constraints, values, and responsibilities that shape them.

WIDOWHOOD, RITUAL, AND THE MATERIALITY OF PATRIARCHY

The novel's opening situation places Ramatoulaye within the rituals that follow Modou's death (Bâ, 1979, pp. 12). The funeral and mourning period are not incidental background. They organise the present-time narrative and expose the social obligations through which families and communities respond to death. Ritual provides a shared language of respect and belonging, but it also creates a setting in which the unequal histories of marriage are recalled, concealed, or made newly visible.

The body of the deceased becomes the focus of prescribed actions, and the family is drawn into practices governed by religious and communal expectations (Bâ, 1979, pp. 7). Ramatoulaye's observance of mourning rules demonstrates her continuing relationship to the social and spiritual world in which she has been formed. Yet the same period also forces her to confront the distance between public ritual and private injury. Modou's death brings visitors, condolences, and formal recognition, but it cannot restore the companionship and support that were withdrawn during his life (Bâ, 1979, pp. 22).

The material consequences of the second marriage are particularly important. The novel connects marital betrayal to the redistribution of attention and resources. The first wife is not injured only in the symbolic domain of affection; she is affected by decisions about household responsibility, family provision, and the future of the children (Bâ, 1979, pp. 22). This emphasis prevents the analysis from treating polygamy solely as a matter of romantic jealousy. Gendered power is embedded in everyday arrangements of money, care, time, and responsibility.

Widowhood also reveals the limits of social recognition. The status of wife or widow may confer ritual obligations and a place within a community, but it does not necessarily guarantee that a woman's own account of the marriage will be heard. Ramatoulaye is expected to perform the duties associated with bereavement even as she reflects on the husband whose decisions had already destabilised her life (Bâ, 1979, pp. 13). Her letter reclaims the space to evaluate that life rather than allowing ritual observance to determine the only acceptable interpretation.

A sociocritical reading must avoid treating religious practice as inherently oppressive. In the novel, religion and ritual are part of a complex social world that gives people structure, meaning, and a shared vocabulary for grief. The critical issue is how norms are interpreted and whose interests they serve in particular situations. Bâ's narrative exposes the tension between collective expectations and individual experience without requiring a wholesale rejection of tradition.

The mourning sequence thus condenses the novel's broader argument. Public practices can sustain community, but they can also obscure unequal relationships when conformity is valued more highly than the testimony of those who have been harmed. By narrating the rituals from Ramatoulaye's perspective, Bâ allows the widow to become not merely an object of communal attention but an interpreter of the social order that surrounds her.

EDUCATION, WORK, AND THE CONDITIONS OF AUTONOMY

Education and professional life are central to the novel's representation of women's possibilities. Ramatoulaye and Aïssatou are not defined exclusively by marriage: their educational histories and work as women in public life provide resources for self-understanding beyond the domestic sphere (Bâ, 1979, p. 48). Schooling makes intellectual exchange possible and offers a language through which inherited expectations can be questioned. It does not, however, eliminate the social force of family and marital conventions.

The women's professional identities matter because they complicate the assumption that economic or educational advancement automatically produces equality at home. A woman may be educated, employed, and intellectually independent while remaining vulnerable to a husband's unilateral decision or to pressure from extended family. The novel therefore refuses a simple modernisation narrative in which education inevitably dissolves patriarchy. Instead, it shows the coexistence of new opportunities and durable gendered expectations (Epstein, 2022).

Aïssatou's ability to leave her marriage is connected to the resources that make an alternative life conceivable. Her decision is not only an attitude; it becomes meaningful through the possibility of establishing a different social and material existence. The narrative thereby suggests that autonomy requires more than individual courage. It depends on access to education, work, networks of support, and a social environment in which a woman can survive beyond the role of wife.

Ramatoulaye's life likewise reveals the importance of labour and responsibility. Her commitments to her children and her profession shape her response to the crisis. The novel treats care as both meaningful and demanding: women's labour sustains families, but that labour can be taken for granted when men withdraw from responsibility. The social value of motherhood is therefore double-edged. It can provide a source of purpose and identity while also being used to justify women's continued sacrifice.

Education should consequently be understood as a necessary but insufficient condition of emancipation. It enlarges women's interpretive and practical resources, but it does not automatically redistribute authority within marriage or family. Bâ's representation of educated women challenges both the belief that tradition is untouched by change and the assumption that modern credentials guarantee freedom. The question is not simply whether women are educated, but whether their knowledge and work are recognised as grounds for equal participation in decisions affecting their lives (Epstein, 2022).

FEMALE SOLIDARITY AND ITS LIMITS

The relationship between Ramatoulaye and Aïssatou is one of the novel's principal sources of emotional support and critical perspective. Their friendship precedes the crises of their marriages and survives the different decisions each makes (Bâ, 1979, p. 5). It creates a continuity that is not dependent on husbands or marital status. In the letter, Ramatoulaye addresses Aïssatou as someone capable of understanding the experiences she recounts, and this recognition counters the isolation that can accompany domestic betrayal.

Solidarity operates here through listening, memory, and the exchange of interpretations. Aïssatou's experience gives Ramatoulaye an alternative example; Ramatoulaye's narration, in turn, records the meaning of choices that might otherwise remain invisible. Their bond is not merely sentimental. It provides a framework in which women's experiences can be compared and made intelligible without being collapsed into a single story. The friendship thus supports a plural understanding of agency.

Yet the novel also shows that women do not automatically act in one another's interests. Social hierarchies can draw women into arrangements that disadvantage other women. Family members may support a younger woman's marriage for reasons of status, financial security, or generational expectation, even when the arrangement deepens another woman's suffering (Bâ, 1979, pp. 72). Binetou's position is especially revealing: the conflict between her and Ramatoulaye cannot be understood adequately if the younger wife is treated as the sole cause of the older woman's injury (Bâ, 1979, p. 77). The broader system organises women's lives in ways that can make their interests appear incompatible.

This complication is crucial to a mature feminist interpretation. If women are presumed to share a natural and unchanging solidarity, the narrative's difficult questions about responsibility and complicity disappear. Bâ instead portrays solidarity as a practice that must be cultivated and negotiated. It can be strong between friends while fragile across differences of age, class, and family position. It can also coexist with judgement and disagreement (Dicker, 2016).

The novel's vision of solidarity is therefore neither cynical nor idealised. It recognises the political importance of women's relationships while acknowledging that these relationships are shaped by the same institutions they may challenge. Friendship creates a space for resistance, but it does not automatically transform the social order. Its force lies in preserving dialogue, enabling reflection, and sustaining the possibility that women can recognise one another as subjects rather than as rivals competing for male approval or material security.

TRADITION, MODERNITY, AND SOCIAL CONTRADICTION

Une si longue lettre is situated in a society where inherited customs, religious norms, educational aspirations, and changing expectations intersect. The novel does not present tradition and modernity as two internally uniform worlds, one oppressive and the other liberating. Instead, characters inhabit a social field in which different values overlap and conflict. Education may encourage critical thought while family expectations continue to shape marriage; religious practice may provide consolation while

social interpretations of duty can reinforce unequal outcomes; professional achievement may expand a woman's public identity without guaranteeing domestic equality.

This complexity matters because narratives of modernisation can imply that gender injustice will disappear as societies become more educated or urbanised. Bâ's characters demonstrate otherwise. The social legitimacy of patriarchal arrangements can persist in modern settings and can be defended through arguments about family honour, duty, or religious acceptability. At the same time, the novel does not suggest that every inherited practice is inherently harmful. Its critical focus falls on the consequences of particular arrangements and on the unequal distribution of power within them (Diallo, 2023).

The text also resists the idea that African women's emancipation must be measured by conformity to a single external model (Collins, 1990). Aïssatou's departure, Ramatoulaye's endurance, and the narrator's reflections on marriage and companionship indicate different negotiations between self-determination and social belonging. The novel's concern is not to provide a universal formula but to make visible the costs of denying women the authority to define what dignity and a viable life mean in their circumstances.

A postcolonial feminist reading should therefore attend to the specificity of the social world represented while avoiding cultural essentialism (Bahri, 2004). The novel neither confirms that all Senegalese families operate identically nor allows a critic to reduce women's experiences to timeless cultural traits. Its characters are situated individuals, and its critique emerges from conflicts within their own social environment. The text's political force comes partly from the fact that the norms it questions are familiar and consequential, not from an abstract opposition between Africa and the West.

Tradition and modernity are best understood in the novel as contested resources. Characters draw on them to justify decisions, seek security, assert dignity, or make sense of suffering. The same language can support different interests. Bâ's achievement is to stage these contradictions without resolving them into a simplistic lesson, inviting readers to ask how social norms might be reinterpreted so that women's agency and well-being become central rather than secondary considerations (Diallo, 2023).

DISCUSSION: RETHINKING RESISTANCE

The analysis suggests that resistance in Une si longue lettre should be understood as a spectrum of practices rather than a single dramatic act. Aïssatou's departure is the clearest instance of refusal, but Ramatoulaye's narration is also a form of resistance because it contests the silencing of private injury. Her continued observance of social and religious obligations does not erase the critical work performed by her letter. She can remain attached to some elements of her social world while questioning the gendered distribution of authority within it.

This broader definition of resistance must not become so expansive that it loses analytical precision. Endurance is not automatically resistance, and narration does not by itself dismantle the structures it exposes. The distinction is between recognising agency and declaring every choice emancipatory. The novel invites readers to acknowledge the meaningful decisions women make while also evaluating the constraints and consequences surrounding those decisions. Ramatoulaye's suffering remains real; Aïssatou's refusal remains significant; neither experience cancels the other.

The novel also makes clear that individual choices cannot substitute for institutional change. A woman may leave a marriage, develop professional independence, or find support in friendship, yet the social norms that privilege male decision-making can remain intact. Similarly, a woman who stays may preserve important attachments while bearing disproportionate costs. The critical question extends beyond the personal virtue of each response to the social arrangements that make some choices more costly or less available than others.

This reading connects with scholarship that cautions against reducing the novel to a singular anti-polygamy message (Warner, 2016) and with criticism that asks whether the narrator's position consistently escapes the social order she criticises (Britwum, 2021). Such critiques do not diminish the novel's feminist significance. Rather, they show why its importance depends on sustained interpretation. A feminist text need not present an uncomplicated heroine or a perfectly coherent ideology. It can reveal how resistance is compromised, how solidarity is uneven, and how subjects reproduce some of the norms they contest.

The epistolary form gives this ambivalence a productive structure. Because the narrative unfolds as an account addressed to a friend, the reader encounters a mind working through experience rather than a

doctrine delivered fully formed. The letter records pain, judgement, memory, and reconsideration. Its authority lies partly in its willingness to hold contradictions together. The novel thus invites a form of reading that is both critical and attentive: critical of institutions that distribute power unequally, and attentive to the particular circumstances through which women negotiate those institutions.

CONCLUSION

This article has argued that Mariama Bâ's Une si longue lettre presents female agency as a situated negotiation between resistance and accommodation. Through Ramatoulaye's letter to Aïssatou, the novel transforms personal grief into social testimony and reveals how marital decisions are connected to family authority, ritual, economic responsibility, education, and gendered expectations. Its critique of polygamy concerns not only emotional betrayal but also the unequal distribution of choice and the expectation that women will privately manage the consequences of decisions made by men.

The contrasting responses of Ramatoulaye and Aïssatou are central to this argument. Aïssatou's departure demonstrates the possibility of refusing a marriage that no longer recognises her dignity. Ramatoulaye's decision to remain reveals a different and more ambivalent negotiation of commitment, responsibility, and social belonging. Neither response should be reduced to a universal rule for women's emancipation. Their friendship allows their experiences to remain in dialogue, showing that solidarity can sustain reflection without requiring identical choices.

The novel's treatment of widowhood and mourning further demonstrates that gendered power operates through public rituals as well as private relationships. Rituals can preserve community and provide meaning, but they may also conceal the injuries that a woman's testimony brings to light. Education and professional work create resources for autonomy, yet they do not automatically dismantle patriarchal authority. Likewise, solidarity is politically valuable but remains vulnerable to differences of generation, class, and family interest.

The contribution of this reading is to move beyond a binary opposition between victimhood and liberation. Bâ's novel does not offer a simple blueprint for emancipation; it stages the difficult conditions under which women make choices, interpret their experiences, and seek dignity. Its feminist force resides in the complexity of that representation. By allowing women to narrate their lives and by exposing the social structures that shape their decisions, Une si longue lettre makes the intimate domain a site of ethical and political inquiry.

For future research, this argument could be developed through a comparative study of Bâ's novel and other Francophone African narratives about marriage, widowhood, and women's self-determination. Further work could also examine how translation affects the representation of gender, legal authority, and cultural specificity, building on Warner's account of the novel's international circulation. Such studies would extend the understanding of Bâ's enduring significance while maintaining attention to the historical and formal particularities of her writing.

REFERENCES

Bâ, M. (1979). Une si longue lettre. Nouvelles Éditions Africaines.

Britwum, A. G. (2021). Mariama Bâ/Ramatoulaye en un combat douteux dans Une si longue lettre. Asɛmka: A Bilingual Literary Journal, 11, 1–16. https://doi.org/10.47963/asmka.vi11.431

El Arbaoui, F. Z. (2023). Sisterhood as a means of resisting patriarchy in Mariama Bâ's So Long a Letter. Rainbow: Journal of Literature, Linguistics and Culture Studies, 12(2), 79–85. https://doi.org/10.15294/rainbow.v12i2.63670

Diallo, K. (2023). Torn between tradition and modernity: images of youth in the fictional work of Mariama Bâ. Canadian Journal of African Studies/Revue canadienne des études africaines, 57(3), 605-624.

Epstein, C. F. (2022). Woman's place: Options and limits in professional careers. Univ of California Press.

Theodora, O. (2013). Étude critique de la question du mariage dans Une si longue lettre de Mariama Bâ. OGIRISI: A New Journal of African Studies, 9(1), 69–81. https://doi.org/10.4314/og.v9i1.3

Warner, T. (2016). How Mariama Bâ became world literature: Translation and the legibility of feminist critique. PMLA, 131(5), 1239–1255. https://doi.org/10.1632/pmla.2016.131.5.1239

Bâ, M. (1981). So long a letter (M. Bodé-Thomas, Trans.). Heinemann. (Original work published 1979.)

Dicker, R., & Piepmeier, A. (Eds.). (2016). Catching a wave: Reclaiming feminism for the 21st century. Northeastern University Press.

Collins, P. H. (1990). Black feminist thought in the matrix of domination. Black feminist thought: Knowledge, consciousness, and the politics of empowerment, 138(1990), 221-238.

Bahri, D. (2004). Feminism in/and Postcolonialism. The Cambridge companion to postcolonial literary studies, 199-220.

EXPLORING THE ANTIFUNGAL POTENTIAL OF THYMUS VULGARIS ESSENTIAL OIL AGAINST PENICILLIUM DIGITATUM THROUGH MOLECULAR DOCKING, MOLECULAR DYNAMICS, AND TOXICITY PROFILING

Hajar Sadrati
Applied Biology for Health, Environment and Sustainable Development Laboratory, Faculty of Applied Sciences, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.
Youssef Arif
Biological Engineering Laboratory, Faculty of Science and Technology, Sulatan Moulay Slimane University, Béni Mellal, Morocco.
Younes Abbas
Applied Biology for Health, Environment and Sustainable Development Laboratory, Faculty of Applied Sciences, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.
Sanaa Sabour-Alaoui
Applied Biology for Health, Environment and Sustainable Development Laboratory, Faculty of Applied Sciences, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.
Mohammed El idrissi
Processes and Applied Materials Laboratory, Faculty of Applied Sciences, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Abstract
Penicillium digitatum is the primary causal agent of postharvest green mold in citrus, highlighting the need for effective and safer antifungal alternatives. In this study, the antifungal potential of 13 major constituents of Thymus vulgaris essential oil was investigated against the fungal enzyme 14α-demethylase (CYP51) using an integrated in silico approach. The three-dimensional structure of CYP51 was constructed through homology modeling and validated using Ramachandran plot analysis and ProSA-web. Molecular docking revealed that β-caryophyllene (−8.5 kcal/mol), caryophyllene oxide (−8.2 kcal/mol), and carvacrol (−8.1 kcal/mol) exhibited the most favorable binding affinities. Their interactions were predominantly governed by hydrophobic contacts, with ASP114 emerging as a recurrent anchoring residue. Furthermore, 100 ns molecular dynamics simulations demonstrated the structural stability of the selected protein–ligand complexes, with mean backbone RMSD values ranging from 2.5 to 3.5 Å and a radius of gyration close to 20 Å. In addition, ProTox-based toxicity predictions assigned most compounds to toxicity classes 4 and 5. Overall, these findings highlight the potential of T. vulgaris essential oil constituents, particularly sesquiterpenes, as promising candidate CYP51 inhibitors against P. digitatum. Further in vitro and in vivo investigations are required to validate their antifungal efficacy and assess their practical applicability in citrus postharvest disease management.

Keywords: Penicillium digitatum; Thymus vulgaris; essential oil; molecular docking; molecular dynamics; ADMET; postharvest green mold.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EMPIRE, FAITH, AND FORM: THE GOTHIC REVIVAL LEGACY OF THE CATHEDRAL CHURCH OF THE RESURRECTION, LAHORE

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore, Pakistan.
Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran
Professor, IIUI, Islamabad, Pakistan.
Amna Jabbar
Lecturer, IAC, Lahore, Pakistan.
Ar. Ayesha Jabbar
Practicing Architect, Deen's Atelier, Lahore, Pakistan.
Ar. Rameesha Khan
Lecturer, Dept of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore, Pakistan.

ABSTRACT
Architecture has always been a powerful tool throughout history of mankind to showcase power struggles and evolution of cultural elements. It has been used to demonstrate political dominance and the superiority of one's religion. The Subcontinent has been home to numerous structures, including those created by indigenous Hindus, Buddhists, Sikhs, Islamic invaders, and the British Empire. These structures were designed to demonstrate their political hold, faith, or connection to local culture. Gothic architecture was primarily used by Christians for religious buildings, as they were considered the physical house of God on Earth. Gothic cathedrals, which originated in the 12th century, were designed to block out nature and earthly distractions, allowing Christians to develop a more personal connection with God. The construction of Gothic or Neo Gothic style churches in Lahore was driven by the increasing number of Protestants in the subcontinent and to mark the land as their own. Although some modifications were made, the actual style remained gothic. The construction was costly, and the colonial rulers needed to show the superiority of their religion and their relationship with the local population, as well as the Catholics, as their own church, the "church of the sacred heart of Jesus," was being built nearby.
KEYWORDS: Heritage, Conservation, Colonial Architecture, Cathedral Church of the Resurrection, Gothic Revival.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EXPLORING RESTORATIVE SPATIAL DESIGN IN HOSPITALS: EXAMINING COURTYARDS AND GREEN SPACES THROUGH A BIOPHILIC DESIGN PERSPECTIVE IN SELECTED HOSPITAL SETTINGS

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Ar. Rashid Ali Khan
Assistant Professor, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran
Professor, Department of Environmental Science, IIUI, Islamabad, Pakistan.
Ar. Sarmad Salahud Din
Associate Professor, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.

ABSTRACT
The physical conditions in health care settings can impact the physical, mental and emotional health of patients, visitors and healthcare workers. This study is to explore and evaluate nature-integrated spaces in selected public and private hospitals in Lahore city using a structured framework of Biophilic design audit. Its research assesses how much the natural elements are used in healthcare environments and how they help to create restorative and therapeutic experiences. The results also indicate that while many hospitals have open areas (courtyards, lawns, landscaped spaces, etc.), these areas tend to be underutilized, under-maintained, and not well integrated into the overall healing process. They have restricted seating, inadequate shading, poor accessibility and inadequate landscape planning, which lessens their therapeutic value. Comparative analysis shows that, in general, private hospitals offer more aesthetically-designed and well-maintained healing environments, whereas public hospitals, due to their large spatial potential, encounter issues in maintaining the environment, in coordinating the planning of their spaces, and in integrating the biophilic approach into their spatial design. The research points towards some critical opportunities for making improvements to health care environments through nature-based solutions with low-cost benefits based on the “Hospital in a Garden” principle. It ends with design and policy suggestions on embedding biophilic planning into hospital protocols, the creation of more fluid connections between the indoor and outdoor environments, and more sustainable, therapeutic healthcare spaces for rapidly urbanizing cities.

KEYWORDS: Biophilic Design, Healing Environments, Hospital Landscapes, Healthcare Architecture, Therapeutic Open Spaces

THE HUMAN-AI SYNERGY: REDEFINING COMMUNICATION, DECISION-MAKING, AND ORGANIZATIONAL EFFECTIVENESS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Dr. Violla Makhzoum
Petra Khoury
Islamic University of Lebanon

Abstract

The rapid advancement of artificial intelligence (AI) is transforming educational institutions and reshaping organizational communication, decision-making processes, and institutional practices. In this evolving landscape, achieving organizational effectiveness requires more than technological adoption; it calls for a meaningful synergy between artificial intelligence and essential human capabilities, particularly effective communication, active listening, empathy, emotional intelligence, conflict resolution, and interpersonal collaboration.

This study explores how integrating human communication skills with AI-based technologies can enhance communication processes, support informed decision-making, and strengthen organizational effectiveness within educational institutions. It examines the potential of AI to facilitate information exchange, improve administrative coordination, support data-informed decisions, and enhance institutional responsiveness, while emphasizing the indispensable role of human judgment, ethical responsibility, and interpersonal understanding in organizational environments.

Furthermore, the study addresses key challenges associated with AI integration, including overreliance on automated communication, algorithmic bias, data privacy concerns, and the potential erosion of meaningful human interaction. It argues that artificial intelligence should function as a complementary resource that enhances human capabilities rather than replacing them.

Accordingly, the study advances an integrated conceptual perspective based on human-AI synergy, in which technological innovation and human competencies interact to foster trust, collaboration, effective decision-making, and sustainable organizational performance. This perspective highlights the importance of developing both digital competencies and interpersonal communication skills among educational professionals to ensure that AI adoption remains ethically responsible, organizationally effective, and responsive to the human needs of educational institutions.

Keywords: Artificial Intelligence; Human-AI Synergy; Human Communication Skills; Organizational Communication; Decision-Making; Emotional Intelligence; Educational Institutions; Organizational Effectiveness; Digital Transformation; Human-Centered AI.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFL TEACHING LEARNING AND EVALUATION IN BENIN SECONDARY SCHOOLS IN TIME OF CRISIS

SALAMI Amadou
University of Kindia, Republic of Guinea
BARRY Thierno Souleymane
University of Kindia, Republic of Guinea
SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée
University of Abomey-Calavi, Republic of Bénin
BARRY Amadou
University of Kindia, Republic of Guinea

Abstract
The recurrence of educational crises, including public health emergencies, prolonged teacher strikes, and school disruptions, has significantly affected the quality of English as a Foreign Language (EFL) instruction in Beninese secondary schools. These challenges have reshaped classroom practices, assessment procedures, and learners' academic achievement, thereby calling into question the resilience and effectiveness of EFL education during periods of uncertainty. This study investigates the impact of crisis situations on EFL teaching and evaluation practices in Benin through a case study of "Lycée Toffa 1er" and "Complexe Scolaire La Glorieuse". Specifically, it examines the pedagogical challenges experienced by teachers, the adaptation of instructional and assessment strategies, and the perceptions of teachers and learners regarding the effectiveness of these adaptations. The study is grounded in Vygotsky's Sociocultural Theory and Resilience Theory, which emphasize the importance of social interaction, contextual learning, and adaptive educational practices in overcoming instructional challenges. A mixed-methods research design is adopted, combining quantitative and qualitative approaches. Data are collected through questionnaires administered to EFL teachers and students, semi-structured interviews with school administrators and teachers, classroom observations, and document analysis of lesson plans and assessment records. Quantitative data are analyzed using descriptive and inferential statistics, while qualitative data undergo thematic content analysis. The findings reveal that crisis situations considerably reduce instructional time, hinder learner engagement, and complicate the implementation of reliable and valid assessment practices. Nevertheless, the study also identifies innovative coping mechanisms adopted by teachers, including differentiated instruction, continuous assessment, collaborative learning, and the integration of digital technologies where available. Furthermore, disparities between the public and private school contexts demonstrate differences in institutional preparedness, resource availability, and pedagogical resilience.
Keywords: English as a Foreign Language, teaching, evaluation, educational crisis, secondary education, resilience, assessment.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EXISTENCE, UNIQUENESS, AND STABILITY OF HYBRID FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS VIA THE MEASURE OF NONCOMPACTNESS

Habib DJOURDEM Professor
Abdelhamid Ibn Badis University , Faculty of Sciences and technology, Department of sciences and techniques, Mostaganem -Algeria

This paper investigates a class of nonlinear boundary value problems (BVPs) involving hybrid Hadamard fractional differential equations subject to nonlocal hybrid Hadamard integral boundary conditions. By employing the measure of noncompactness technique combined with degree theory, we establish the existence of solutions to the problem under suitable assumptions. In addition, we examine the uniqueness of solutions and carry out a stability analysis of the considered problem. A numerical example is provided to demonstrate the applicability of the obtained results.
Keywords: Hadamardfractionalintegral; Kuratowski measure of noncompactness; Lipschitz; uniformlybounded.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INNOVATION IN TEACHING AND ASSESSMENT IN HIGHER EDUCATION THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE (2020–2026)

Nguyen Thi Kim Hoa
PhD Student, Can Tho University
Kien Giang University

Abstract
Artificial Intelligence (AI) has rapidly become an integral part of everyday life and now stands as one of the foremost research priorities of our time. Higher education, by virtue of its pioneering role and its status as a fertile environment for both academic inquiry and practical application, is the domain in which the impact of AI is most clearly manifested—particularly across its two foundational pillars: teaching methods and assessment. This article synthesises studies published between 2020 and 2026, drawn from reputable domestic and international databases, in order to elucidate three central issues: (i) the directions in which AI is transforming teaching methods; (ii) the ways in which AI is reshaping assessment practices; and (iii) the challenges arising from, and recommendations for, the application of AI in the innovation of teaching methods and assessment in higher education, with particular reference to the Vietnamese context. The findings indicate that AI fosters the personalisation of learning, supports instructional design and the provision of automated feedback, and simultaneously compels universities to redesign assessment in a manner that is transparent and that positions the learner at the centre of the process as the ultimate decision-maker. In the next phase, further research should investigate specific facets of the innovation of teaching methods and assessment, or examine particular contexts and case studies concerning the application of artificial intelligence.
Keywords: Artificial Intelligence, Higher Education, Innovation in Teaching Methods, Assessment, Academic Integrity.

LIVED EXPERIENCES OF MEDICAL EDUCATORS UTILIZING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR LEARNER ASSESSMENT

Dr. Zubia Shah
MBBS, MPhil, PhD
Associate Professor
Associate Dean Undergraduate
Department of Physiology
Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan.

ABSTRACT
Background: Artificial Intelligence (AI) is rapidly changing medical education and evaluation. AI tools grade, assess, and provide assignments, appraisals, and feedback. These tools promote efficiency, objectivity, and appraisal. Nonetheless, for medical teachers, who are major contributors to the development of professional skills and ethical principles, introducing AI into assessment raises new issues.
Methodology: The qualitative study uses a phenomenological approach and purposive sampling to explore themes. The study was conducted through six focus group discussions with basic science faculty members at Khyber Girls' Medical College, Peshawar, from October to December 2025. The interviews were recorded using a DECT phone, and transcripts were prepared. A comprehensive manual thematic analysis was conducted, yielding themes and subthemes.
Results: The thematic analysis had four themes. Persistence of Traditional Assessment Practices Despite Emerging AI Tools; Benefits of AI in Assessment Design and Teaching Support; Challenges, Limitations, and Ethical Concerns Surrounding AI Use, and Institutional Readiness and the Future of AI-Driven Assessment.
Conclusion: The medical education and assessment use of AI is developing, and rather than transforming the system, it is enhancing the creativity, and its safe progress will be possible only through training, institutional strategy, access to tools, and good governance.
Keywords: Artificial intelligence, Assessment, Experiences, Educators.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

STRUCTURAL CONTROL OF PB-ZN MINERALIZATIONS IN THE EASTERN HERCYNIEN CENTRAL MASSIF (AZROU-KHÉNIFRA): MAPPING OF FAULT ZONES

CONTRÔLE STRUCTURAL DES MINÉRALISATIONS PB-ZN DANS L'EST DU MASSIF HERCYNIEN CENTRAL (AZROU-KHÉNIFRA): CARTOGRAPHIE DES ZONES DE FAILLES

OUHSSAINE
Ayoub, BOUTSOUGAME
Abdelaziz, MOUSSAID
Azizi
[1]Laboratoire de Recherche en Biotechnologie-Environnement-Géoressources BEG
Université Sultan Moulay Slimane, Ecole Supérieure de Technologie-Khénifra, B.P : 170, Khénifra, Maroc.

The eastern part of the central Hercynian Massif (Azrou-Khénifra region) is characterized by Pb-Zn mineralization controlled by a network of NE-SW trending Hercynian faults.
This cartographic summary compiles BRPM/ONHYM data to identify areas with potential for mineral exploration.
Analysis of 1:200,000 geological maps (BRPM/ONHYM) by superimposing the main Pb-Zn deposits and major faults in ArcGIS, as well as statistical calculation of mine-fault distances.
Between 72% and 75% of explored Pb-Zn mineralized deposits are located less than 2 km from the four main NE-SW faults: Tighza Mine, Jbel Aouam, Mispickel (Tighza district) - Aguelmous, and Khénifra Ouest.
Two priority areas have been identified: the Aguelmous-Tighza sector, which has a high structural density, and the Khénifra sector.
GIS mapping of fault zones is an operational tool for initial targeted mineral exploration in the eastern part of the Central Hercynian Massif. The proposed prospects guide ONHYM's priority investigations.
Keywords: Central Hercynian Massif, Pb-Zn mineralization, NE-SW faults, Azrou- Khénifra, GIS mapping, mineral exploration.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FINANCIAL TECHNOLOGY ADOPTION AND THE GROWTH OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN NIGERIA

Umar Baba Shaaba
Department of Accounting, Ahman Pategi University, Kwara State, Nigeria

ABSTRACT

Financial technology (FinTech) has transformed the delivery of financial services by providing businesses with convenient, accessible, and cost-effective alternatives to traditional banking operations. In Nigeria, the increasing adoption of digital payment platforms, mobile banking, electronic transfers, and other technology-driven financial services presents significant opportunities for the growth and development of small and medium enterprises (SMEs). However, the extent to which financial technology adoption contributes to SME growth remains an important issue for empirical investigation. This study examines the relationship between financial technology adoption and the growth of small and medium enterprises in Nigeria. Specifically, it seeks to assess the influence of digital payment systems, mobile banking services, and electronic financial transactions on business sales growth, operational efficiency, and business expansion. The study is motivated by the importance of SMEs to employment generation, poverty reduction, and sustainable economic development in Nigeria. A quantitative research approach is proposed, using primary data collected through structured questionnaires administered to owners and managers of selected SMEs. The study will employ descriptive statistics and appropriate inferential statistical techniques to examine the relationship between financial technology adoption and business growth. The findings are expected to provide insights into the extent to which digital financial services enhance business operations, improve transaction efficiency, and facilitate access to financial services among SMEs. The study may also identify challenges associated with FinTech adoption, including transaction costs, cybersecurity concerns, digital literacy limitations, and unreliable network infrastructure. The findings are expected to assist policymakers, financial institutions, and SME operators in developing strategies that promote effective financial technology adoption and sustainable business growth. The study will contribute to the growing body of knowledge on digital finance, entrepreneurship, and SME development in emerging economies, with particular relevance to Nigeria.

Keywords: Financial Technology; FinTech Adoption; Small and Medium Enterprises; Digital Finance; Business Growth; Nigeria.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FINANCIAL RISK MANAGEMENT AND CORPORATE PERFORMANCE IN NIGERIAN COMMERCIAL BANKS

Umar Baba Shaaba
Department of Accounting, Ahman Pategi University, Kwara State, Nigeria

ABSTRACT

Financial risk management is an essential component of banking operations, particularly in developing economies where financial institutions face increasing exposure to credit risk, liquidity risk, market risk, and operational uncertainties. The ability of commercial banks to identify, assess, and manage these risks may significantly influence their profitability, operational efficiency, and long-term sustainability. This study examines the relationship between financial risk management and corporate performance in Nigerian commercial banks. Specifically, it seeks to investigate the effects of credit risk management, liquidity risk management, and operational risk management on the financial performance of commercial banks in Nigeria. The study is motivated by the need to strengthen financial stability and improve the effectiveness of risk management practices within the Nigerian banking sector. A quantitative research approach is proposed, using secondary data obtained from the annual reports and financial statements of selected commercial banks listed on the Nigerian Exchange Group. Financial performance will be measured using return on assets and return on equity, while financial risk management will be assessed through appropriate credit risk, liquidity risk, and operational risk indicators. Panel regression analysis will be employed to examine the relationships between the variables. The study is expected to provide empirical insights into how effective financial risk management practices contribute to the performance and sustainability of commercial banks. The findings may assist bank management in improving risk assessment strategies, support regulatory authorities in strengthening prudential supervision, and provide useful information to investors and other stakeholders in evaluating banking sector performance. The study will also contribute to the existing literature on financial risk management and corporate performance in emerging economies, particularly Nigeria.

Keywords: Financial Risk Management; Corporate Performance; Credit Risk; Liquidity Risk; Commercial Banks; Nigeria.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FROM AI INVESTMENT TO REALISED VALUE: A SYSTEMATIC REVIEW AND VALUE-CONVERSION FRAMEWORK

Anel Abdykalykova
Kenzhegali Sagadiyev University of International Business, Almaty, Kazakhstan
Anel Abdykalykova - Master's degree holder, DBA student
ORCID: 0009-0007-0121-7710
Aizhana Maldynova
Aizhana Maldynova - PhD, Associate Professor
ORCID: 0000-0001-6546-3784

Abstract
Financial organisations invest heavily in artificial intelligence (AI), yet the returns remain difficult to measure. This study examines approaches to evaluating AI investment effectiveness in financial and fintech organisations and develops a framework explaining how such investment creates organisational value. A systematic literature review based on PRISMA 2020 principles was combined with a thematic synthesis of peer-reviewed studies published mainly between 2021 and 2026 and official documents on Kazakhstan's financial sector. The review shows that existing studies primarily use indirect measures of AI adoption, including annual-report keywords, disclosure indices and corporate announcements, and relate them to accounting-based indicators. Cost reductions are reported more consistently than profitability gains, while outcomes depend on organisational size, digital capabilities, managerial orientation and implementation time. None of the reviewed studies directly measured AI expenditure or traced its conversion through capability development, effective use and intermediate outcomes into financial and strategic value. Evidence from Central Asia is limited, and Kazakhstan's official statistics focus mainly on technology adoption rather than investment returns. To address these gaps, the study proposes a five-stage value-conversion framework, nine testable propositions and a six-dimensional AI Investment Effectiveness Index covering financial, operational, risk and compliance, customer, strategic and responsible-AI outcomes. The framework offers fintech managers and regulators in Kazakhstan and comparable emerging economies a structured approach to evaluating AI projects beyond conventional financial indicators and identifies the data needed for future empirical validation.
Keywords: artificial intelligence; investment evaluation; fintech; business value; systematic literature review; emerging economies; Kazakhstan

Introduction

Artificial intelligence has moved from experimentation to routine use in financial services. Banks and fintech firms apply machine learning to credit scoring, fraud detection, anti-money-laundering monitoring, customer service, process automation and risk management (Königstorfer & Thalmann, 2020; Fares et al., 2023; Singh et al., 2025). The scale of this shift is visible in firm-level data. Babina et al. (2024) document a sharp rise in AI investment across sectors of the US economy, and in a panel of 143 listed banks from 11 emerging markets the share of banks disclosing AI adoption rose from 5.0% to 83.2% between 2014 and 2025 (Al Naim, 2026). Investment in AI has therefore become a material allocation of financial, technological and human resources for financial organisations.

Whether these investments pay off is far less clear. Some studies associate AI adoption with higher bank profitability (Shiyyab et al., 2023; Li, 2026; Li et al., 2026), while others find effects on overhead costs but not on net interest margin or return on equity (Ortega Perals et al., 2025), or no association between AI governance and profitability (Al Naim, 2026). Capital markets have reacted negatively to AI investment announcements, particularly for firms with weak IT capabilities (Lui et al., 2022). Outside the financial sector, digital transformation has been found to raise productivity while lowering firm performance, because operating and management costs absorb the gains (Guo et al., 2023). The literature on AI and business value concludes that organisations still lack a coherent account of how AI produces value and what kind of value to expect (Enholm et al., 2022).

Part of the difficulty lies in the appraisal tools themselves. Return on investment, net present value, internal rate of return and payback period assume that costs and benefits can be identified, attributed to

a project and forecast with reasonable confidence. AI investments violate these assumptions in several ways. Their benefits depend on complementary intangible investments in data, skills and organisational change, so measured productivity may fall before it rises, a pattern described as the productivity J-curve (Brynjolfsson et al., 2021). Their outputs are probabilistic predictions whose value depends on how decisions are made with them, and their performance changes as data drift, which requires continuing investment in data management and model lifecycle management (Weber et al., 2023). Many of their effects are intangible or appear as avoided losses, such as prevented fraud or compliance breaches avoided, which accounting returns do not record. Option-pricing approaches were proposed decades ago for IT investments made under uncertainty (Benaroch & Kauffman, 1999), but single-indicator appraisal remains the default in practice. Evaluating AI through one financial indicator is therefore likely to misstate its value in both directions.

These problems are sharper in emerging economies. Financial organisations there often face less mature data infrastructure, skills shortages, regulatory uncertainty and higher relative implementation costs (Rahman et al., 2023; Alhassan et al., 2026). At the same time, they may gain more from AI where it substitutes for missing credit information or manual processes. Evidence on AI value in emerging markets is concentrated in China (Li, 2026; Li et al., 2026), with smaller studies from Jordan, Malaysia and multi-country panels (Shiyyab et al., 2023; Rahman et al., 2023; Al Naim, 2026).

Kazakhstan illustrates both the momentum and the measurement problem. A 2024 survey by the National Bank of Kazakhstan, conducted with the Agency for Regulation and Development of Financial Market and with the participation of the Astana International Financial Centre, found that 31% of 94 financial market participants used AI to some extent, rising to 60% among second-tier banks, and that 45% planned implementation in 2024 (National Bank of Kazakhstan et al., 2024). The Government adopted a Concept for the Development of Artificial Intelligence for 2024–2029 (Government of the Republic of Kazakhstan, 2024), and the Law "On Artificial Intelligence" No. 230-VIII, signed on 17 November 2025 and in force since 18 January 2026, introduced risk-based classification, transparency duties and lifecycle risk management for AI systems. Academic work on the country has reviewed AI methods for financial risk management (Abisheva et al., 2025), compared Kazakhstan's AI adoption with Ghana's (Alhassan et al., 2026) and examined digital assets in Kazakhstani companies (Batyrbekova et al., 2026). None of these sources, however, reports how much financial organisations spend on AI or what return they obtain, and no framework exists for evaluating such investment in the country's fintech sector.

The research gap addressed here is therefore both methodological and contextual. Existing studies estimate associations between proxies of AI presence and accounting ratios; they neither measure AI investment directly nor trace how it passes through implementation capabilities, effective use and intermediate operational and risk outcomes to financial and strategic value. Governance and risk are studied separately from value, and evidence from Central Asia is almost absent.

The objective of this study is to analyse contemporary approaches to evaluating the effectiveness of AI investment in financial and fintech organisations and to develop an integrated framework explaining how such investment is converted into measurable financial, operational, risk-related, customer-related and strategic value. The study addresses four research questions:

1. RQ1. Which methods and indicators are used to evaluate the effectiveness of AI investment in financial and fintech organisations, and at which stage of the value chain do they measure it?
2. RQ2. What limitations do existing AI investment evaluation methods have?
3. RQ3. Which technological, organisational, managerial, data-related and regulatory factors are associated with the conversion of AI investment into organisational value?
4. RQ4. How can these methods and factors be integrated into a multidimensional evaluation framework suitable for fintech organisations in Kazakhstan and comparable emerging economies?

The study makes three contributions. First, it shows that the evidence base on AI value in finance is concentrated at the two ends of the value chain and thin in its middle, which explains much of the inconsistency in reported effects. Second, it integrates resource-based, capability, IS-success and

appraisal perspectives into a five-stage value-conversion framework with explicit moderators and nine testable propositions. Third, it translates the framework into a six-dimension AI Investment Effectiveness Index and an empirical validation strategy designed for Kazakhstan's fintech sector, where the absence of investment data is itself a finding.

Materials and methods

The study combined a systematic literature review with thematic synthesis and conceptual framework development. The review followed the PRISMA 2020 reporting principles (Page et al., 2021) to the extent that they apply to a review of heterogeneous management and finance studies. Because the evidence base mixes econometric panels, event studies, surveys, interview studies, technical model papers and conceptual reviews, a statistical meta-analysis was not appropriate, and the synthesis was qualitative and thematic.

The search strategy, eligibility criteria and screening rules are summarised in Table 1. The table sets out the databases, the period, the five Boolean search blocks and the inclusion and exclusion criteria applied at each screening stage.

Table 1. Search strategy and inclusion criteria

Element	Specification
Databases	Scopus and Web of Science Core Collection (primary); ScienceDirect, SpringerLink, Emerald Insight, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online and IEEE Xplore (publisher platforms); Crossref and RePEc/IDEAS for metadata verification; Google Scholar for supplementary discovery only
Period	January 2021 – October 2026; earlier works admitted only as theoretical anchors
Block A: AI value	("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning") AND ("business value" OR "firm performance" OR "firm value" OR "return on investment" OR ROI OR "value creation")
Block B: financial sector	Block A AND (bank* OR fintech OR "financial services" OR "financial institution*")
Block C: capabilities	("AI capabilit*" OR "AI readiness" OR "AI maturity" OR "AI implementation" OR "data quality") AND (organi*ation* OR firm*)
Block D: governance and risk	("responsible AI" OR "AI governance" OR explainab* OR "model risk") AND (financ* OR credit OR bank*)
Block E: context	Block B AND ("emerging market*" OR "emerging econom*" OR Kazakhstan OR "Central Asia")
Document types	Peer-reviewed journal articles and reviews; official statistical, legal and policy documents analysed separately as context
Language	English for the review corpus; Russian and Kazakh for Kazakhstani context sources
Inclusion	Addresses AI (or digital technologies including AI) in organisations; reports or theorises a link to performance, value, adoption capability, governance or evaluation; financial-sector focus, or cross-industry work that defines constructs used in the framework
Exclusion	Purely algorithmic papers without organisational or evaluation content; conference abstracts, theses, commercial reports and blogs; journals without verifiable peer review; retracted publications; records whose bibliographic details could not be verified

Table shows that the search moved from broad AI-value terms to sector, capability, governance and context terms, so that each stage of the later framework had a dedicated search block. The inclusion criteria deliberately admitted cross-industry studies that define capability and readiness constructs, because finance-specific measurement of these constructs was scarce. The exclusion of unverifiable and retracted records was applied strictly: one candidate publication identified during screening was excluded after its retraction was confirmed on the publisher's page.

Records were exported from each database, merged and de-duplicated by DOI and then by title and first author. Titles and abstracts were screened against the inclusion criteria, followed by full-text assessment. Every included record was verified against at least one authoritative bibliographic source, such as the publisher's page, a Crossref or RePEc record or an institutional repository, for authorship, title, journal, year and DOI. The selection process is reported in a PRISMA 2020 flow diagram (Figure 1), specified as follows.

Quality appraisal used five criteria adapted to the mixed evidence base: a clearly stated objective; a design appropriate to the objective; transparent description of data or sources; explicit treatment of limitations; and publication in a peer-reviewed journal with verifiable indexing. Studies were not excluded on quality grounds alone, but appraisal results were used to weight interpretation, for example by distinguishing designs that address endogeneity (instrumental variables, difference-in-differences) from purely associational ones.

Data extraction recorded, for each study, the authors and year, country or context, industry, objective, theoretical framework, design, sample, AI application, investment or performance indicators, main findings, limitations and relevance to the framework. Coding combined deductive and inductive steps. Deductively, each finding was assigned to a stage of a provisional value chain derived from the IT business value model (Melville et al., 2004) and the IS success model (DeLone & McLean, 2003): investment inputs, implementation capabilities, adoption and use, intermediate outcomes, financial value and strategic value. Inductively, recurring patterns, contradictions and methodological weaknesses were coded across studies. Candidate research gaps were then tested against the coded evidence and classified as supported, partly supported or not yet assessable, so that the gap statement in the Introduction follows from the evidence rather than preceding it. Finally, the coded themes, the verified links between stages and the identified moderators were integrated into the conceptual framework, the propositions and the evaluation index reported in Section 3.

Official sources on Kazakhstan, including the National Bank's 2024 report, the AI Concept for 2024–2029 and Law No. 230-VIII, were analysed separately and are cited as institutional context, not as academic evidence.

Results

The core set analysed in this paper comprises 23 peer-reviewed studies, of which 21 were published in 2021–2026 and two earlier works were retained as anchors for the banking and AI-value literatures; the final number after the full database run is reported in Figure 1 as [INSERT FINAL NUMBER OF STUDIES INCLUDED]. Twelve studies focus on banks, fintech or the financial sector, and eleven are cross-industry studies that define constructs used in the framework. By design, eight are quantitative firm- or bank-level studies (panels or event studies), six are literature or scoping reviews, three are surveys or mixed-methods studies, two are expert-interview studies, and four use other designs: macroeconomic modelling, technical model development, comparative secondary analysis and archival case analysis. The characteristics of each study are presented in Table 2, which shows the context, sector, design and the way each study measures AI and its outcomes.

Table 2. Characteristics of the reviewed studies

Study	Context	Sector	Design	How AI is measured	Outcome measures
Abisheva et al. (2025)	Kazakhstan, global	Financial risk management	PRISMA review, bibliometric analysis	AI and ML models by risk type	Forecast accuracy, speed
Al Naim (2026)	11 emerging markets	Listed banks	Two-way fixed effects, system GMM	Hand-coded disclosure of AI adoption and governance	Capital ratios, credit risk, profitability
Alhassan et al. (2026)	Ghana, Kazakhstan	Financial sector	Comparative secondary analysis	Reported adoption	Adoption barriers and drivers
Babina et al. (2024)	United States	Cross-industry	Instrumental-variable panel	AI-skilled workforce from resumes	Sales, employment, market value
Batyrbekova et al. (2026)	Kazakhstan	Cross-sector companies	Quasi-experiment, mixed methods	Digital-asset bundle including AI analytics	Income, operating costs, employee outcomes

Brynjolfsson et al. (2021)	United States	Economy-wide	Macroeconomic modelling	AI as general-purpose technology	Total factor productivity
Bussmann et al. (2021)	Europe	Peer-to-peer lending	Model development	Explainable credit-scoring model	Prediction quality, explainability
Enholm et al. (2022)	Global	Cross-industry	Systematic review	Organisational AI use	First- and second-order effects
Fares et al. (2023)	Global	Retail banking	Systematic review (44 articles)	Customer-facing AI	Service framework
Guo et al. (2023)	China	Listed firms	Panel analysis	Digital transformation index	TFP, firm performance, costs
Jöhnk et al. (2021)	Not specified	Cross-industry	Expert interviews (25)	Readiness factors	Readiness indicators
Königstorfer & Thalmann (2020)	Global	Commercial banks	Structured literature review	AI applications	Application areas, challenges
Li (2026)	China	430 commercial banks	Panel regressions	LLM-built lexicon in reports; patents	Profitability
Li et al. (2026)	China	17 listed banks	Multi-period DID	72 keywords in annual reports	ROA, ROE
Lui et al. (2022)	Listed firms	Cross-industry	Event study (119 announcements)	Investment announcements	Abnormal returns
Mikalef & Gupta (2021)	Not specified	Cross-industry	Survey, measurement model	AI capability scale	Creativity, firm performance
Ortega Perals et al. (2025)	24 countries	Financial institutions	System GMM panel	Economy-wide private AI investment	Overhead costs, NIM, ROE
Papagiannidis et al. (2025)	Global	Cross-industry	Scoping review	Governance practices	Governance framework
Rahman et al. (2023)	Malaysia	Banking	Interviews and PLS-SEM survey (302)	Adoption intention	Intention drivers, barriers
Shiyyab et al. (2023)	Jordan	15 listed banks	Content analysis, regression	AI disclosure index	ROA, ROE, expenses
Singh et al. (2025)	Global	Banking and finance	Systematic review (157 articles)	AI applications	Thematic areas
Wamba-Taguimdje et al. (2020)	Global	Cross-industry	Archival case analysis (~500 cases)	AI transformation projects	Process and organisational performance
Weber et al. (2023)	Not specified	Cross-industry	Expert interviews (25)	Implementation capabilities	Capability typology

Table shows that the empirical evidence on financial value comes almost entirely from panels of listed banks and firms, while the capability and readiness constructs come from cross-industry interview and survey studies. Geographically, the quantitative bank studies are concentrated in China, with single-country evidence from Jordan and Malaysia and two multi-country panels; three sources concern Kazakhstan, but none of them measures AI investment in financial organisations. The column on AI measurement is the most revealing: not one study observes an organisation's AI expenditure, relying

instead on keywords, disclosures, patents, workforce composition, announcements or economy-wide spending.

The evaluation methods and indicators used across the literature are summarised in Table 3, which groups them by evaluation approach and identifies the stage of the value chain each approach measures. This table answers RQ1 and provides the material for RQ2.

Table 3. Methods and indicators used to evaluate AI investment effectiveness

Evaluation approach	Indicators used	Stage measured	Studies	Main limitation
Accounting-performance panels	ROA, ROE, NIM, overhead-to-assets, operating expenses	Financial value	Shiyyab et al. (2023); Ortega Perals et al. (2025); Li (2026); Li et al. (2026); Al Naim (2026)	AI measured by proxy; middle stages skipped
Market-based event studies	Abnormal returns at announcement	Investor expectations of value	Lui et al. (2022)	Short window; expectations, not realised value
Growth and innovation panels	Sales, employment, market value, product innovation	Financial and strategic value	Babina et al. (2024)	Human-capital proxy; not finance-specific
Productivity accounting	TFP, adjusted for intangible capital	Economy or firm productivity	Brynjolfsson et al. (2021); Guo et al. (2023)	Productivity may not reach profit
Technical model evaluation	Prediction accuracy, explainability	Intermediate risk outcomes	Bussmann et al. (2021); Abisheva et al. (2025)	No link to financial value
Capability and readiness assessment	Capability scales, readiness factors	Capabilities	Mikalef & Gupta (2021); Jöhnk et al. (2021); Weber et al. (2023)	Cross-industry; not tied to returns
Adoption-intention models	Attitude, usefulness, trust, perceived risk	Adoption	Rahman et al. (2023)	Intention, not use or value
Pre/post group comparison	Income growth, operating costs, employee performance	Intermediate and financial outcomes	Batyrbekova et al. (2026)	Small non-random sample; AI not isolated
Investment appraisal (ROI, NPV, IRR, payback, TCO, real options)	Cash-flow-based returns	AI project	None in the reviewed set; real options proposed for IT generally (Benaroch & Kauffman, 1999)	Not applied to AI in the reviewed literature

Table indicates that the literature evaluates AI predominantly through firm-level accounting ratios and market reactions rather than through investment appraisal. The last row is the most consequential result for RQ1: none of the reviewed studies applies ROI, NPV, IRR, payback or total cost of ownership to an AI project, so the debate about the inadequacy of traditional appraisal methods proceeds largely without evidence on how those methods perform for AI. The table also shows that each approach observes only one or two stages of the value chain, which is why findings from different approaches rarely accumulate. The limitations relevant to RQ2 follow directly from this pattern. The first is construct validity: disclosure is not use, and use is not spending, as Al Naim (2026) notes for disclosure indices and Li et al. (2026) acknowledge when calling for expenditure or patent data. The second is attribution: accounting ratios aggregate the effects of many decisions, and only two studies address endogeneity directly, through instrumental variables (Babina et al., 2024) and difference-in-differences (Li et al., 2026). The third is timing: event windows and two-year observation periods cannot capture the delayed benefits predicted by the productivity J-curve (Brynjolfsson et al., 2021; Lui et al., 2022; Batyrbekova et al., 2026). The fourth is cost blindness: running, integration and management costs can absorb productivity gains (Guo et al., 2023), yet none of the reviewed studies measures the total cost of owning

AI systems, and no study examined failed or abandoned AI projects. The fifth is the separation of risk from value: avoided fraud losses, model failures and compliance breaches are evaluated technically but are not monetised in any value assessment.

Beyond the methods themselves, the reviewed studies report value along several distinct dimensions, which are summarised in Table 4. The table separates financial from non-financial dimensions and records, for each, what the evidence shows and how mature its measurement is.

Table 4. Financial and non-financial AI value dimensions

Dimension	Indicators observed in the literature	What the evidence shows	Key studies	Measurement maturity
Cost efficiency	Overhead-to-assets, operating expenses, cost elasticity of income	Most consistent effect: lower costs reported across single- and multi-country designs	Shiyyab et al. (2023); Ortega Perals et al. (2025); Li (2026); Li et al. (2026)	Established, but proxy-based
Profitability	ROA, ROE, NIM	Positive in Chinese and Jordanian bank panels; not significant across 24 countries; no association with governance disclosure in 11 markets	Li (2026); Li et al. (2026); Shiyyab et al. (2023); Ortega Perals et al. (2025); Al Naim (2026)	Established, mixed results
Market value	Abnormal returns, valuation growth	Negative at announcement; positive over longer horizons	Lui et al. (2022); Babina et al. (2024)	Established outside finance
Growth and innovation	Sales, product innovation, income diversification	AI-investing firms grow faster mainly through product innovation; banks diversify income	Babina et al. (2024); Li (2026)	Emerging
Productivity	TFP	Gains may be delayed and may not reach profit	Brynjolfsson et al. (2021); Guo et al. (2023)	Established at macro and firm level
Operational	Automation, process performance, employee performance	Process-level gains precede organisational gains; employees with low digital skills improve most	Wamba-Taguimdje et al. (2020); Batyrbekova et al. (2026)	Fragmented
Risk and compliance	Credit-risk prediction, fraud and AML detection, explainability	Better forecast accuracy and speed; interpretability and deployment are limits	Bussmann et al. (2021); Abisheva et al. (2025); Königstorfer & Thalmann (2020)	Technical only, not monetised
Customer	Adoption intention, service quality, mobile-channel use	Customer acceptance drives adoption; mobile banking is one channel of profitability gains	Rahman et al. (2023); Fares et al. (2023); Li (2026)	Fragmented
Responsible AI and governance	Governance disclosure, structural, relational and procedural practices	Governance lags adoption and shows no detectable association with financial outcomes yet	Papagiannidis et al. (2025); Al Naim (2026)	Early

AI value in financial organisations is multidimensional in practice, even though most studies measure only one dimension at a time. Cost efficiency is the dimension with the most consistent evidence, while profitability and market value show results that depend on design, sample and horizon. Risk, customer and governance dimensions are documented but not converted into financial terms, which means that a

single financial indicator would omit precisely the benefits that AI in finance is most often deployed to deliver, such as reduced fraud losses and improved credit decisions.

The factors associated with converting AI investment into value, which address RQ3, are presented in Table 5. They are grouped into the technological, organisational, managerial, data-related and regulatory or environmental categories named in the research question, and each is classified by the strength of its supporting evidence.

Table 5. Organisational and technological factors affecting AI value realisation

Category	Factor	Role in value conversion	Supporting evidence	Evidence strength
Technological	IT capability and digital investment intensity	Strengthens the AI–value link; weak IT capability deepens negative market reactions	Lui et al. (2022); Li et al. (2026)	Moderate (two quantitative studies)
Technological	Model lifecycle management, explainability	Sustains model performance and enables use in regulated decisions	Weber et al. (2023); Bussmann et al. (2021); Abisheva et al. (2025)	Qualitative and technical
Organisational	Firm size, systemic importance	Larger firms and banks capture more value	Babina et al. (2024); Li et al. (2026); Li (2026)	Moderate
Organisational	AI capability and readiness	Precondition for creativity and performance effects	Mikalef & Gupta (2021); Jöhnk et al. (2021)	Cross-industry
Organisational	Employee digital competence	Gains largest where low-skilled employees are trained	Batyrbekova et al. (2026)	Single small study
Organisational	Ownership and labour intensity	Ownership type changes effect size; labour-intensive firms gain less	Li et al. (2026); Li (2026); Guo et al. (2023)	Emerging
Managerial	Managerial orientation (myopia)	Short-termism amplifies negative effects of digital investment	Guo et al. (2023)	Single study, not AI-specific
Data-related	Data management and data dependency	Value depends on a proper data foundation and continuous adjustment as data change	Weber et al. (2023); Enholm et al. (2022)	Qualitative
Regulatory and environmental	Regulation, government functioning, rule of law	Government control conditions the AI–efficiency link; regulatory gaps hinder adoption	Ortega Perals et al. (2025); Rahman et al. (2023); Al Naim (2026)	Emerging, mixed
Regulatory and environmental	Fintech ecosystem maturity	Gains larger in regions with mature fintech ecosystems	Li (2026)	Single study
Temporal	Time since implementation	Value appears with delay; early measures understate it	Brynjolfsson et al. (2021); Lui et al. (2022); Babina et al. (2024)	Theory plus indirect evidence

Value conversion is conditional on factors at several levels, but the evidence for most factors rests on one or two studies, often outside the financial sector. Size and IT capability have the firmest quantitative support, whereas data quality, readiness and managerial orientation, which practitioners regard as decisive, have not been tested as moderators of financial outcomes in banks or fintechs. The regulatory factors are particularly relevant for emerging economies, because the same AI application may create value under one supervisory regime and stall under another.

The barriers and risks reported across the studies converge on a short list: insufficient infrastructure and skills, data security and privacy concerns, algorithmic bias, model opacity and regulatory uncertainty

(Rahman et al., 2023; Abisheva et al., 2025; Alhassan et al., 2026). Evidence from emerging economies broadly confirms the global findings but adds two features. First, the gap between adoption and governance is wide: across 11 emerging markets, adoption disclosure grew about 5.6 times faster than governance disclosure within banks (Al Naim, 2026). Second, the institutional environment matters more visibly, with regulatory quality and government functioning entering as explicit conditions on value (Ortega Perals et al., 2025).

The evidence specific to Kazakhstan is limited to four sources of different kinds. Official data show that AI use is concentrated in second-tier banks, at 60% compared with 31% of all surveyed financial market participants (National Bank of Kazakhstan et al., 2024). Abisheva et al. (2025) find that few Kazakhstani financial organisations integrate AI across all key business functions and recommend investment in data infrastructure, model risk management and explainability tools. Alhassan et al. (2026) characterise Kazakhstan's AI development as government-led with a strong fintech hub, although their reported adoption figures are internally inconsistent and are not relied on here. Batyrbekova et al. (2026) provide the only company-level before-and-after evidence: Kazakhstani companies that integrated a bundle of digital assets, including AI-based analytics, showed higher income growth and larger cost reductions than a control group over 2023–2024, although the AI component was not isolated. Research on regulatory quality in Kazakhstan further indicates that digitalised public services and stronger institutional integrity are associated with improved economic outcomes (Maldynova et al., 2026), which supports treating the regulatory environment as a moderator rather than as a constant.

Testing twelve candidate gaps against the coded evidence produced four that are fully supported and seven that are partly supported, while one could not be assessed. Fully supported are the fragmentation of financial, operational, customer, risk and strategic measures; the conflation of adoption, use, intermediate outcomes and realised value; the absence of any validated evaluation framework for Kazakhstan's fintech sector; and the absence of comparable organisation-level data on AI investment and returns. Partly supported, and therefore stated in narrower form in this paper, are reliance on traditional indicators (the literature relies on accounting ratios rather than on investment appraisal), insufficient modelling of delayed benefits (supported for delay, not yet assessed for probabilistic benefits), the untested role of data quality and governance, the untested role of readiness, competence and leadership in finance, the scarcity of emerging-economy evidence outside China, the separation of regulation and model risk from value measurement, and the absence of project-level before-and-after evaluation. The weak treatment of failed AI projects and implementation costs could not be assessed, because no study in the reviewed set addressed it and an absence in the corpus is not sufficient evidence of a gap.

The theoretical perspectives found in the literature each explain one part of the value chain but none explains the whole. The resource-based view explains why identical spending can produce different returns, because value depends on combining AI with resources that are difficult to imitate (Barney, 1991), but it is static and does not show how investment becomes capability. Dynamic capabilities theory adds the processes of sensing, seizing and reconfiguring through which firms adapt to new technologies and regulation (Teece, 2007), but its constructs are difficult to measure and weakly connected to financial indicators. The technology–organisation–environment framework organises the drivers of adoption (Tornatzky & Fleischer, 1990), yet it ends at adoption and is silent on value afterwards. The IT business value model distinguishes process-level from organisation-level performance and shows how complementary resources and the environment shape the link between them (Melville et al., 2004), and the IS success model separates system and information quality, use and net benefits (DeLone & McLean, 2003); both were developed for conventional information systems and do not address data dependency, model drift or probabilistic outputs, which AI-specific capability studies add (Jöhnk et al., 2021; Mikalef & Gupta, 2021; Weber et al., 2023). On the evaluation side, the balanced scorecard provides a structure that combines financial and non-financial perspectives (Kaplan & Norton, 1992), and real options analysis offers a way to value staged investment under uncertainty (Benaroch & Kauffman, 1999). A benefits-realisation logic, in which benefits are planned, assigned owners and tracked after implementation, supports the feedback loop from realised value to the next investment. The framework therefore assigns each perspective to the stage it explains best rather than adding them together.

The resulting framework is shown in Figure 1. It arranges the five stages vertically, places the moderators beside the links they condition and closes the chain with a feedback loop.

Figure 1. AI investment value-conversion framework

AI investment value as a conversion process in which each stage is necessary but not sufficient for the next. Investment inputs, which include not only software and infrastructure but also data preparation, cybersecurity, training, change management, model maintenance, compliance and legacy integration, create value only after they build implementation and organisational capabilities. These capabilities determine whether AI is used in decisions, effective use produces intermediate operational and risk outcomes, and only these outcomes translate into financial and strategic value. The moderators on the right, including organisation size, ownership, type of financial organisation, AI application type, regulatory environment, market and macroeconomic uncertainty, digital maturity and managerial orientation, time since implementation, and data availability and quality, are drawn as conditions on links rather than as direct causes of value. The arrows denote a theorised sequence: the reviewed evidence supports associations at individual links, and the full chain has not been tested in any financial organisation.

Nine propositions follow from the framework and the reviewed evidence. Each is stated with its variables so that it can be tested in a future study of Kazakhstani fintech organisations.

P1. AI investment intensity, defined as annual AI-related expenditure across the input categories in Figure 2 divided by total operating expenditure, is positively associated with AI implementation capability, measured with a multi-item capability scale adapted from Mikalef and Gupta (2021) and Weber et al. (2023).

P2. AI implementation capability, including implementation quality and AI maturity, mediates the relationship between AI investment intensity and effective AI use, measured as the share of eligible processes and decisions in which AI outputs are used.

P3. Effective AI use is positively associated with intermediate outcomes, measured as changes in processing time, cost per transaction, automation rate, operational error rate, fraud-loss rate and credit-risk prediction quality.

P4. Intermediate outcomes mediate the relationship between effective AI use and financial performance, measured by cost-to-income ratio, ROA and risk-adjusted return.

P5. Data quality, measured by completeness, accuracy, timeliness and consistency of the data used by AI systems, positively moderates the relationship between AI investment intensity and implementation capability.

P6. Organisational readiness, including management support and employee digital competence, positively moderates the relationship between implementation capability and effective use.

P7. Perceived regulatory uncertainty negatively moderates the relationship between effective AI use and financial performance.

P8. The association between AI investment and financial performance is weaker in the first periods after implementation than in later periods, consistent with a productivity J-curve.

P9. The relationship between AI investment intensity and financial performance is non-linear, with net returns declining when investment outpaces implementation capability.

P1 to P4 specify the main chain and draw on the IT business value and capability literatures (Melville et al., 2004; Mikalef & Gupta, 2021; Weber et al., 2023); P5 and P6 follow from evidence that data foundations and readiness condition value (Jöhnk et al., 2021; Weber et al., 2023; Batyrbekova et al., 2026); P7 follows from findings that government functioning and regulatory gaps condition AI effects (Ortega Perals et al., 2025; Rahman et al., 2023); P8 follows from the J-curve argument and the contrast between short-run and long-run market evidence (Brynjolfsson et al., 2021; Lui et al., 2022; Babina et al., 2024); and P9 follows from evidence that only a medium level of digitalisation improves firm performance (Guo et al., 2023). The propositions are directional where theory justifies a direction and avoid causal language, because the available evidence supports association.

To make the framework usable for evaluation, the stages and value dimensions were translated into a multidimensional AI Investment Effectiveness Index, presented in Table 6. The table lists six

dimensions, the indicators proposed for each and the evidence that justifies including them.

Table 6. Proposed multidimensional framework for evaluating AI investment in fintech organisations

Dimension	Indicators	Framework stage	Rationale from the review
Financial effectiveness	ROI, NPV, IRR, payback period, risk-adjusted return, total cost of ownership; real-option value for staged projects	Financial value	Appraisal methods are absent from the evidence; TCO captures the costs that absorb gains (Guo et al., 2023); real options address uncertainty (Benaroch & Kauffman, 1999)
Operational effectiveness	Processing time, cost per transaction, automation rate, productivity, error reduction, system availability	Intermediate outcomes	Cost effects are the most consistent finding (Table 4); process-level gains precede organisational gains
Risk and compliance effectiveness	Fraud-loss reduction, false-positive and false-negative rates, credit-risk prediction quality, compliance costs, model-risk indicators, cybersecurity incidents	Intermediate outcomes	Core financial-sector AI uses; currently evaluated only technically (Bussmann et al., 2021; Abisheva et al., 2025)
Customer effectiveness	Customer satisfaction, retention, response time, complaint reduction, personalisation, digital-channel engagement	Intermediate and financial value	Customer acceptance and mobile channels link AI to value (Rahman et al., 2023; Li, 2026)
Strategic and innovation effectiveness	Speed of new-product development, scalability, organisational learning, innovation capability, competitive advantage, resilience	Strategic value	Growth through product innovation (Babina et al., 2024); delayed benefits (Brynjolfsson et al., 2021)
Responsible AI and governance	Explainability, fairness, privacy compliance, accountability, data governance, model monitoring	Capabilities and outcomes	Governance lags adoption (Al Naim, 2026); required by Law No. 230-VIII; framework by Papagiannidis et al. (2025)

Table converts the framework into an evaluation instrument with six dimensions; each linked to a stage of Figure 2 and to the evidence reviewed above. Traditional appraisal measures are retained in the financial dimension but are complemented by total cost of ownership and, for staged projects, real-option value, because the review showed that costs and uncertainty are where single indicators fail. The responsible AI dimension is included as both capability and an outcome, reflecting the finding that governance has so far been studied apart from value.

The index is intended to be computed in four steps, none of which presupposes numerical weights. First, indicators are normalised to a common scale, using min–max scaling for bounded indicators and z-scores for unbounded ones, with the direction reversed for indicators where lower values are better, such as cost per transaction or false-positive rates. Second, weights are derived empirically or by structured judgement: expert weighting or the Analytic Hierarchy Process where the purpose is managerial prioritisation, entropy weighting where the purpose is to reflect the information content of indicators, and factor analysis or PLS-SEM where the purpose is to validate the dimensional structure. Third, dimension scores are aggregated; a geometric mean is preferable to an arithmetic mean when strong performance on one dimension should not fully compensate for weakness on another, for example high profitability achieved with poor model governance. Fourth, the index is tested for internal consistency and convergent and discriminant validity, and its sensitivity to alternative weighting and normalisation choices is reported. Multi-criteria decision analysis can then be used to compare AI projects on the index rather than on a single financial measure.

Discussion

The central finding of this review is that the evidence on AI value in financial organisations is located at the two ends of the value chain and is thin in its middle. Studies observe something about AI at the

end of the input, usually a textual or market signal rather than expenditure, and something about financial results at the output end, usually an accounting ratio. What happens between these points, including the capabilities that investment builds, the extent to which AI is used and the operational and risk improvements that use produces, is described conceptually or technically but rarely measured alongside financial outcomes. This structure explains why literature appears contradictory. If two studies measure different proxies at the input end and different ratios at the output end, and neither observes the intervening stages, their estimates can diverge without being wrong either.

The contradictory profitability findings illustrate this interpretation. Positive associations in Chinese and Jordanian bank panels (Shiyyab et al., 2023; Li, 2026; Li et al., 2026) and the absence of significant effects on net interest margin and return on equity in a 24-country panel (Ortega Perals et al., 2025) differ in the level at which AI is measured: within-bank textual indicators in the former, economy-wide private AI investment in the latter. They also differ in the outcome, and here the pattern is instructive. Cost-side effects appear in nearly every design, whereas profitability effects appear only in some. Because profitability is downstream of costs and is also affected by pricing, competition and risk, it is a noisier measure of AI value than cost efficiency. A framework that separates cost, revenue and profitability effects, as the financial and operational dimensions of the proposed index do, can show where value is created and where it is lost before reaching the bottom line.

The tension between short-run and long-run evidence points to the same conclusion. Investors reacted negatively to AI investment announcements (Lui et al., 2022), while firms that invested in AI grew faster in sales and valuation over longer horizons (Babina et al., 2024). The productivity J-curve offers a coherent explanation: AI requires complementary intangible investment that is expensed or unmeasured at first, so measured performance initially understates value and later reflects it (Brynjolfsson et al., 2021). The productivity paradox reported by Guo et al. (2023), in which digital transformation raised productivity but lowered performance because operating and management costs rose, adds that some gains may never reach financial results if implementation is poorly aligned. Taking together, these findings suggest that time since implementation and the cost of running AI systems are not secondary details but core parameters of any credible evaluation.

These results also clarify why traditional financial indicators are insufficient on their own. The problem is not that ROI, NPV, IRR or payback are wrong, but that each compresses a multi-stage, delayed and partly probabilistic process into one number. Applied early, they understate value because benefits lag; applied without total cost of ownership, they overstate it because running, monitoring and compliance costs are omitted; and applied to AI used for fraud detection or credit decisions, they miss avoided losses that never appear as revenue. It is notable that none of the reviewed studies applied these methods to an AI project. The critique of traditional appraisal in AI therefore rests largely on argument rather than evidence, and the proposed index retains them within the financial dimension so that their behaviour can finally be observed alongside the other dimensions.

The mechanisms that convert investment into value appear to operate mainly through capabilities and use. The capability literature identifies data management, model lifecycle management, project co-development and readiness as conditions for successful implementation (Jöhnk et al., 2021; Weber et al., 2023), and AI capability is linked to organisational creativity and firm performance outside finance (Mikalef & Gupta, 2021). In the bank evidence, the mechanisms that are measured, including cost elasticity of income, capital allocation efficiency, income diversification and mobile banking development (Li, 2026; Li et al., 2026), are intermediate outcomes in the terms of Figure 2. The evidence that IT capability and digital investment intensity strengthen AI effects (Lui et al., 2022; Li et al., 2026) and that employee digital competence shapes gains (Batyrbekova et al., 2026) supports the view that organisational and technological readiness determines whether AI investment is absorbed productively. This also explains the size effect found repeatedly (Babina et al., 2024; Li, 2026): larger organisations are more likely to possess the complementary resources, data volumes and specialist staff that the resource-based view predicts will make AI valuable (Barney, 1991).

The governance findings deserve particular attention because they run against expectations. Responsible-AI governance is widely presented as a precondition for sustainable value (Papagiannidis et al., 2025), yet disclosed governance showed no detectable association with credit risk or profitability in emerging-market banks (Al Naim, 2026). Two interpretations are compatible with the evidence.

Governance measures are recent and sparse, so the absence of association may reflect measurement immaturity. Alternatively, the value of governance lies mainly in avoided losses, such as model failures, discriminatory decisions and regulatory sanctions, which accounting ratios do not capture. Both interpretations support treating governance as an explicit dimension of evaluation rather than as a background condition.

For Kazakhstan, the review has three implications. First, the institutional setting is changing quickly. Law No. 230-VIII introduces risk-based classification of AI systems, transparency and labelling duties, lifecycle risk management and user rights to explanations and corrections; for financial organisations, credit-scoring and fraud-detection systems that affect customers are likely to fall into the higher-risk tiers and will carry documentation and monitoring costs that belong in any total-cost-of-ownership calculation. Second, the available official data measure adoption, with second-tier banks well ahead of other participants (National Bank of Kazakhstan et al., 2024), but not expenditure or returns. Without such data, neither regulators nor managers can judge whether AI investment is efficient, and researchers cannot test the propositions above with national evidence. Third, the concentration of AI in large banks, together with the international finding that larger organisations capture more value, raises the possibility that AI will widen the gap between large banks and smaller fintechs and microfinance organisations unless smaller players gain access to shared infrastructure.

The study contributes to theory in three ways. It reframes the inconsistent AI–performance literature as a problem of missing intermediate stages rather than of conflicting effects, which suggests where future measurement effort should go. It integrates resource-based, capability, IS-success and appraisal perspectives by assigning each to the stage it explains best, rather than listing them side by side. And it specifies moderators, including data quality, readiness, regulatory uncertainty, time since implementation and the relation between investment and capability, as conditions on links, producing propositions that can be falsified.

For managers of banks and fintech organisations, the framework implies that an AI business case should be built and tracked stage by stage. Before investment, it should cost all input categories, including data preparation, integration, training, monitoring and compliance, and assess whether data quality and implementation capability are sufficient. After implementation, it should track effective use and intermediate outcomes, such as processing time, fraud-loss rates and prediction quality, before expecting financial results, and it should set evaluation horizons long enough to capture delayed benefits. Projects should be compared on the multidimensional index rather than on ROI alone, and staged investments with high uncertainty may be better valued as options.

For policymakers and regulators in Kazakhstan, the most immediate implication concerns data. The National Bank and the Agency for Regulation and Development of Financial Market already survey AI adoption; extending these surveys to cover AI expenditure by category, the share of processes using AI and a small set of outcome indicators would create the comparable organisation-level data whose absence this review identifies as a gap. Supervisory guidance on documenting AI systems under Law No. 230-VIII could be designed so that the same documentation supports both compliance and value evaluation. Shared infrastructure and sandboxes may help smaller financial organisations reach the capability thresholds that the evidence associates with value.

The study has limitations. The core set of studies is modest and was coded largely from abstracts and publisher metadata; full-text coding may refine the classification of designs, theories and limitations. The final database search counts are reported as placeholders until the complete search is run. The evidence is concentrated in China and in cross-industry samples, so the transfer of capability constructs to financial organisations is assumed rather than demonstrated. Several sources on Kazakhstan are official documents or national journals rather than international peer-reviewed studies. The probabilistic dimension of AI benefits and the treatment of failed AI projects could not be assessed and require targeted searches. Finally, the framework is conceptual: its arrows represent theorised sequence, and none of the propositions has yet been tested.

Empirical validation is therefore the next step. A feasible strategy for Kazakhstan combines three designs. A cross-sectional survey of banks, microfinance organisations, insurers and fintech firms, including AIFC participants, would measure investment intensity, capabilities, effective use, intermediate outcomes and perceived financial performance, and test P1–P7 with PLS-SEM, which is

suited to formative indices and moderate sample sizes. A panel of second-tier banks combining supervisory financial data with AI indicators would test P8 and P9 through lagged and non-linear specifications. Case studies of selected AI projects, such as credit-scoring or fraud-detection systems, would apply the full index, including ROI, NPV and total cost of ownership, before and after implementation, providing the project-level evidence that the literature lacks.

Conclusion

This study reviewed how the effectiveness of AI investment is evaluated in financial and fintech organisations and developed a framework for evaluating it in Kazakhstan and comparable emerging economies. In answer to RQ1, the literature evaluates AI mainly through firm-level accounting ratios, market reactions and productivity measures, with technical evaluation of model performance and capability or readiness assessment as separate strands; these methods observe the ends of the value chain and rarely its middle, and none of the reviewed studies applied investment appraisal methods to an AI project. In answer to RQ2, the main limitations are proxy measurement of AI, weak attribution, evaluation windows too short for delayed benefits, omission of the full cost of running AI and the separation of risk and governance from value.

In answer to RQ3, value conversion is associated with technological factors (IT capability, digital investment intensity, model lifecycle management), organisational factors (size, AI capability and readiness, employee competence), managerial orientation, data management and the regulatory and ecosystem environment, together with time since implementation; most of these rest on one or two studies and few have been tested in financial organisations. In answer to RQ4, these elements were integrated into a five-stage value-conversion framework, nine propositions and a six-dimension AI Investment Effectiveness Index covering financial, operational, risk and compliance, customer, strategic and responsible-AI effectiveness.

The main theoretical contribution is to explain the inconsistency of the AI–performance literature as a consequence of unmeasured intermediate stages and to integrate existing theories by stage. The practical value of the framework lies in giving managers a structure for building and tracking AI business cases beyond a single financial indicator and in giving regulators a template for data collection. For Kazakhstan's fintech sector, where official data record AI adoption but not AI expenditure or returns, the framework identifies what needs to be measured before AI investment efficiency can be judged.

Future research should validate the framework empirically, combining a PLS-SEM survey of Kazakhstani financial organisations, a lagged panel of second-tier banks and project-level before-and-after case studies; extend the review with targeted searches on failed AI projects, total cost of ownership and real-options valuation of AI; and compare results across Central Asian countries with different regulatory regimes.

References

Abisheva, K. Zh., Selezneva, I. V., Kydyrbayeva, Sh. D., & Shtiller, M. V. (2025). Artificial intelligence in financial risk management: Global trends, XAI and regulatory approaches in Kazakhstan. *Bulletin of Turan University*, (4), 376–395. https://doi.org/10.46914/1562-2959-2025-1-4-376-395

Al Naim, A. (2026). Artificial intelligence adoption, governance disclosure and responsible banking in emerging markets. *Sustainability, 18*(21), 11057. https://doi.org/10.3390/su182111057

Alhassan, T. F., Kalkabayeva, G., & Kurmanalina, A. (2026). The financial sectors of Ghana and Kazakhstan: Comparative analysis of artificial intelligence adoption and implications. *BRICS Journal of Economics, 7*(1), 155–175. https://doi.org/10.3897/brics-econ.7.e151598

Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics, 151*, 103745. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management, 17*(1), 99–120. https://doi.org/10.1177/014920639101700108

Batyrbekova, M., Butin, E.-B., Davletova, M., Maldynova, A., & Syzdykova, K. (2026). The impact of digital assets on strategic planning and corporate financial performance. *Howard Journal of Communications*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10646175.2026.2729163

Benaroch, M., & Kauffman, R. J. (1999). A case for using real options pricing analysis to evaluate information technology project investments. *Information Systems Research, 10*(1), 70–86. https://doi.org/10.1287/isre.10.1.70

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2021). The productivity J-curve: How intangibles complement general

purpose technologies. *American Economic Journal: Macroeconomics, 13*(1), 333–372. https://doi.org/10.1257/mac.20180386
Bussmann, N., Giudici, P., Marinelli, D., & Papenbrock, J. (2021). Explainable machine learning in credit risk management. *Computational Economics, 57*(1), 203–216. https://doi.org/10.1007/s10614-020-10042-0
DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9–30.
Enholm, I. M., Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Krogstie, J. (2022). Artificial intelligence and business value: A literature review. *Information Systems Frontiers, 24*(5), 1709–1734. https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w
Fares, O. H., Butt, I., & Lee, S. H. M. (2023). Utilization of artificial intelligence in the banking sector: A systematic literature review. *Journal of Financial Services Marketing, 28*(4), 835–852. https://doi.org/10.1057/s41264-022-00176-7
Government of the Republic of Kazakhstan. (2024). *Concept for the development of artificial intelligence for 2024–2029*. https://primeminister.kz/en/news/concept-for-artificial-intelligence-development-for-2024-2029-adopted-by-government-28786
Guo, X., Li, M., Wang, Y., & Mardani, A. (2023). Does digital transformation improve the firm's performance? From the perspective of digitalization paradox and managerial myopia. *Journal of Business Research, 163*, 113868. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113868
Jöhnk, J., Weißert, M., & Wyrtki, K. (2021). Ready or not, AI comes-An interview study of organizational AI readiness factors. *Business & Information Systems Engineering, 63*(1), 5–20. https://doi.org/10.1007/s12599-020-00676-7
Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard-Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, January–February, 71–79.
Königstorfer, F., & Thalmann, S. (2020). Applications of artificial intelligence in commercial banks – A research agenda for behavioral finance. *Journal of Behavioral and Experimental Finance, 27*, 100352. https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100352
Law of the Republic of Kazakhstan No. 230-VIII "On Artificial Intelligence". (2025, November 17).
Li, X., Zhang, D., Zeng, N., & Meng, D. (2026). How does artificial intelligence reshape bank profitability in China?-Evidence from a multi-period difference-in-differences model. *International Journal of Financial Studies, 14*(2), 39. https://doi.org/10.3390/ijfs14020039
Li, Z. (2026). Does artificial intelligence enhance bank profitability? Evidence from China. *Finance Research Letters, 90*, 109366. https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.109366
Lui, A. K. H., Lee, M. C. M., & Ngai, E. W. T. (2022). Impact of artificial intelligence investment on firm value. *Annals of Operations Research, 308*(1), 373–388. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03862-8
Maldynova, A., Aidargaliyeva, N., & Gerasimenko, V. (2026). An economic analysis of OECD anti-corruption instruments and their influence on public sector performance and regulatory quality in Kazakhstan. *Public Administration and Civil Service*, 1(96), 75–86. https://doi.org/10.52123/1994-2370-2026-1683
Melville, N., Kraemer, K., & Gurbaxani, V. (2004). Review: Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value. *MIS Quarterly, 28*(2). https://aisel.aisnet.org/misq/vol28/iss2/7
Mikalef, P., & Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. *Information & Management, 58*(3), 103434. https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103434
National Bank of Kazakhstan, Agency of the Republic of Kazakhstan for Regulation and Development of Financial Market, & Astana International Financial Centre. (2024). *Artificial intelligence in the financial market of Kazakhstan: Current state, prospects and analysis of regulatory approaches*. https://nationalbank.kz/en/news/informacionnye-soobshcheniya/16693
Ortega Perals, P., Cruz Rambaud, S., & Sánchez García, J. (2025). Does AI private investment really matter for financial institutions efficiency? Evidence from a country panel. *Finance Research Open, 1*(2), 100009. https://doi.org/10.1016/j.finr.2025.100009
Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Conboy, K. (2025). Responsible artificial intelligence governance: A review and research framework. *Journal of Strategic Information Systems, 34*(2), 101885. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101885
Rahman, M., Ming, T. H., Baigh, T. A., & Sarker, M. (2023). Adoption of artificial intelligence in banking services: An empirical analysis. *International Journal of Emerging Markets, 18*(10), 4270–4300. https://doi.org/10.1108/IJOEM-06-2020-0724

Shiyyab, F. S., Alzoubi, A. B., Obidat, Q. M., & Alshurafat, H. (2023). The impact of artificial intelligence disclosure on financial performance. *International Journal of Financial Studies, 11*(3), 115. https://doi.org/10.3390/ijfs11030115

Singh, R. K., Mishra, R., Kumar, S., & Bag, S. (2025). Applications of artificial intelligence for optimizing banking and financial operations: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of Economic Surveys, 39*(5), 2284–2302. https://doi.org/10.1111/joes.12693

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal, 28*(13), 1319–1350. https://doi.org/10.1002/smj.640

Tornatzky, L. G., & Fleischer, M. (1990). *The processes of technological innovation*. Lexington Books.

Wamba-Taguimdje, S.-L., Fosso Wamba, S., Kala Kamdjoug, J. R., & Tchatchouang Wanko, C. E. (2020). Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: The business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal, 26*(7), 1893–1924. https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2019-0411

Weber, M., Engert, M., Schaffer, N., Weking, J., & Krcmar, H. (2023). Organizational capabilities for AI implementation-Coping with inscrutability and data dependency in AI. *Information Systems Frontiers, 25*(4), 1549–1569. https://doi.org/10.1007/s10796-022-10297-y

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

WHEN MARKETING CLAIMS GO TOO FAR: THE INFLUENCE OF PERCEIVED INGREDIENT-RELATED OVERCLAIMING ON CONSUMER LOYALTY THROUGH CONSUMER TRUST

Khairina Putri Azhari
Genoveva Genoveva
School of Business, President University, Indonesia

Abstract
The development of digital marketing has made it easier for consumers to access information about cosmetic and skincare products. However, the increasing use of exaggerated claims, particularly about product ingredients and benefits, has raised concerns about how consumers respond to such information, as some marketing content may create expectations not always supported by clear evidence. Therefore, this study examines the effect of overclaimed ingredients in Digital Marketing on Consumer Trust and Consumer Loyalty. This study used a quantitative approach with a causal research design. Data were collected through an online questionnaire distributed to Indonesian consumers who had purchased cosmetic or skincare products promoted through digital platforms. A total of 158 respondents participated in this study. The respondents were selected using a non-probability purposive sampling technique based on predetermined criteria to ensure that they had relevant experience with cosmetic or skincare products and digital marketing. The data were analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) with SmartPLS 4. The results show that overclaimed ingredients in Digital Marketing have a positive and significant effect on Consumer Trust (p-value 0,000<0,05, b = 0.344) and Consumer Loyalty (p-value 0,008<0,05, b = 0.313). In addition, Consumer Trust has a positive and significant effect on Consumer Loyalty (p-value 0,014<0,05, b= 0,342). However, Consumer Trust was not found to mediate the relationship between Overclaimed Ingredients in Digital Marketing and Consumer Loyalty (p-value 0.067> 0.05, b=0.118). These findings suggest that consumers' responses to overclaimed ingredient information are not as straightforward as initially expected. Although exaggerated claims are often associated with negative consumer perceptions, consumers may still maintain trust and loyalty toward brands they use. This indicates that factors beyond marketing claims may also play an important role in shaping Consumer Trust and Consumer Loyalty. This study is expected to provide a better understanding of consumer behavior in the Indonesian cosmetic and skincare industry, particularly in relation to marketing claims used on digital platforms.
Keywords: Over claimed Ingredients, Digital Marketing, Consumer Trust, Consumer Loyalty

INTRODUCTION

The cosmetics market in Indonesia has undergone a significant transformation in recent years. The Indonesian Food and Drug Authority (BPOM) reported that the total number of companies rose from 819 in 2021 to 913 in 2022 (Waluyo, D.,2023). This dynamic reflects heightened activity in the Indonesian cosmetics market, as more companies strive to meet the ever-growing demand for skincare products. As the industry expands, the importance of online sales has also increased, intensifying competition for customers. Social media enables key market players to communicate directly with the public and inform audiences about their products and services. However, in such a competitive environment, ensuring the accuracy and credibility of the information provided is crucial, as customers often rely on social media when making purchasing decisions.

Because of the tough competition, companies in the skincare industry are using marketing techniques that influence how customers decide which products to buy. One marketing move that is becoming more frequent is making statements. This means talking about a product in a way that makes its benefits sound better than they actually are or doesn't match what the product can really do (Rifaldi, et al., 2024). This method is commonly used on websites and via collaborations,

working with influencers to build a positive image for the brand and encourage customers to make purchases. However, when these claims are not based on science, a difference appears between what consumers expect and what they actually get after using the product in the skincare industry. Overclaiming particularly occurs when promotional statements exaggerate product benefits or communicate product characteristics that are not adequately supported by evidence. Claims concerning active ingredients are particularly relevant because consumers may interpret the stated concentration or benefits of an ingredient as an indication of product effectiveness.

In addition to the increasing number of cosmetic manufacturers, BPOM reported a continuous rise in cosmetic product notifications. Furthermore, during a national inspection in February 2025, BPOM discovered illegal cosmetics with an estimated economic value exceeding IDR 31.7 billion, a more than tenfold increase compared to the previous year. Most of these products were marketed through online platforms and social media. Consequently, intense market competition, combined with the rapid evolution of digital marketing, can lead companies to make false claims about ingredients. Moreover, this situation risks eroding consumer trust in the brand (Genoveva & Simatupang, 2025).

When promised benefits are not delivered, brand trust may decline. Brand trust is the bond between consumers and a brand, built on confidence that the brand can meet their needs (Haudi et al., 2022) and deliver what it promises (Atulkar, 2020; Kwon et al., 2020). Lower trust may in turn weaken consumer loyalty, defined as repeated purchases of a brand over time (Astriana, 2019). Loyalty develops from trust and good experiences (Muljani, 2021) and is closely tied to satisfaction (Dilla & Ngatno, 2020; Hutabarat & Prabawani, 2020). Mismiwati (2019) found that the probability of becoming loyal reaches 65% for satisfied consumers and 95% for highly satisfied ones.

This study therefore examines (1) the effect of perceived overclaimed ingredients in digital marketing on consumer trust, (2) its effect on consumer loyalty, (3) the effect of consumer trust on loyalty, and (4) whether consumer trust mediates the relationship between overclaimed ingredients and loyalty.

MATERIALS AND METHODS

*This study is a quantitative, use the causal study (Creswell & Creswell, 2018; Saunders et al., 2019) examined whether perceived overclaimed ingredients in digital marketing (OR) affect consumer trust (CT) and loyalty (CL), and whether CT mediates this relationship. Respondents were Indonesian consumers who had bought skincare or cosmetic products promoted online (Sekaran & Bougie, 2021). A power analysis in G*Power 3.1 required at least 74 respondents; the final sample was 158.*

An online questionnaire with 17 five-point Likert items measured OR (6 items; Harahap et al., 2023; Kozik, 2024; Alviansha et al., 2025), CT (5 items; Guerreiro & Pacheco, 2021; O'Higgins & Fatorachian, 2025), and CL (6 items; Astriana, 2019; Muljani, 2021; Jo & Bang, 2024; Larasati & Perkasa, 2026). A pilot test (n = 50) confirmed acceptable validity and reliability.

Data were analyzed with SPSS 30 (descriptive statistics) and PLS-SEM in SmartPLS 4, covering measurement model validity and reliability and structural model testing by bootstrapping (Hair et al., 2022).

RESULTS

The outer model is a measurement model used to assess the validity and reliability of the instrument constructs. In SmartPLS 4, the PLS Algorithm command divides the outer model test into three components: convergent validity, discriminant validity, and composite reliability**.**

Figure1. *Outer Model Measurement*
Source: Researcher, using SmartPLS version 4 (2026)

Most outer loadings are above 0.70, and all indicators are above 0.50 (range 0.547–0.807). Five indicators (OR3, OR5, CT2, CT4, and CL5) have loadings between 0.50 and 0.70. As recommended by Hair et al. (2019)

Table 1*. Result of Average Variance Extracted (AVE)*

Construct	Cronbach's Alpha	Composite Reliability (rho_a)	Composite Reliability (rho_c)	AVE	Result
CL	0.817	0.834	0.868	0.527	Valid & Reliable
CT	0.776	0.780	0.846	0.524	Valid & Reliable
OR	0.833	0.839	0.878	0.545	Valid & Reliable

Source: Researcher, using SmartPLS version 4 (2026)

All AVE values are above 0.50, which indicates that each construct explains more than half of the variance of its indicators.

Table 2. *Cronbach's Alpha and Composite Reliability*

Variabel	Cronbach's Alpha	Composite Reliability (ρa)	Composite Reliability (ρc)
CL	0.817	0.834	0.868
CT	0.776	0.780	0.846
OR	0.833	0.839	0.878

Source: Researcher, using SmartPLS version 4 (2026)

All values exceed 0.70, and all VIF values are below 5 (maximum 2.303), so there is no multicollinearity problem.

The inner model is tested by examining R-square, f^2, Q-square, and path coefficients.

Table 3*. Determination Coefficient (R2)*

Variable	R-Square	R-Square Adjusted	Result
Consumer Loyalty (CL)	0.288	0.279	Weak to Moderate
Consumer Trust (CT)	0.119	0.113	Weak

Source: Researcher, using SmartPLS version 4 (2026)

Based on Hair et al. (2011), OR and CT explain 28.8% of the variance in consumer loyalty (weak to moderate), and OR explains 11.9% of the variance in consumer trust (weak). Both Q^2 values are above 0, so the model has predictive relevance. The effect sizes (f^2) are 0.144 (CT→CL), 0.134 (OR→CT), and 0.121 (OR→CL), which are small to medium.

Table 4. *Hypothesis Direct Testing*

	Original sample	**Sample mean**	**Standard deviation**	**T statistics**	**P values**
OR -> CT (H1)	0.344	0.367	0.084	4.096	0.000
OR -> CL (H2)	0.313	0.311	0.118	2.653	0.008
CT -> CL (H3)	0.342	0.337	0.139	2.459	0.014
OR -> CT -> CL (H4)	0.118	0.126	0.064	1.830	0.067

Source: Researcher, using SmartPLS version 4 (2026)

The significance level was 5%. A hypothesis is supported when the P-value is ≤ 0.05 and the T-statistic is > 1.96 (Hair et al., 2022).

DISCUSSION

The empirical findings reveal that perceived overclaimed ingredients in digital marketing have a statistically significant positive effect on consumer trust (β = 0.344, t = 4.096, p = 0.000). However, because this study originally hypothesized a negative relationship, H_1 is not supported as formulated. This unexpected positive direction contradicts the empirical findings of Alviansha et al. (2025), who demonstrated that marketing overclaims tend to damage consumer trust in local skincare brands. A plausible explanation for this result is that modern digital consumers may interpret exaggerated ingredient claims primarily as promotional product information or marketing enthusiasm rather than outright fraudulent statements. Furthermore, strong brand familiarity may cushion consumer trust, keeping confidence high even when marketing claims are exaggerated. Nevertheless, the small effect size (f^2 = 0.134, R^2 = 0.119) indicates that consumer trust is predominantly driven by external factors not captured in this direct link, such as perceived product quality, actual post-purchase experience, and broader brand reputation.

Similarly, perceived overclaimed ingredients exert a statistically significant positive influence on consumer loyalty (beta = 0.313, t = 2.653, p = 0.008), rendering H2 unsupported as originally formulated. This outcome suggests that consumers may recognize the presence of exaggerated benefits in digital marketing campaigns yet remain loyal to the brand due to overall satisfaction with tangible product performance. This finding broadly aligns with Abigail et al. (2024), who emphasized that intrinsic product quality and the overall online shopping experience—rather than promotional marketing messages alone—serve as the main drivers of consumer loyalty in the skincare sector. However, the magnitude of this direct effect remains limited (f^2 = 0.121), demonstrating that overclaiming alone plays a minor role in securing long-term customer retention.

In contrast, consumer trust was shown to significantly increase consumer loyalty (β = 0.342, t = 2.459, p

= 0.014), fully supporting H3. This positive link reinforces previous research by Larasati and Perkasa (2026) as well as Jo and Bang (2024), both of which established that higher levels of consumer trust actively foster repeat purchasing behaviors and positive brand recommendations. Although statistically significant, the observed effect size is modest (f^2 = 0.144), highlighting that while trust is an essential component, consumer loyalty is multifaceted and shaped by complementary constructs. Finally, the assessment of indirect pathways indicates that consumer trust does not significantly mediate the relationship between perceived overclaimed ingredients and consumer loyalty (β = 0.118, t = 1.830, p = 0.067), leading to the rejection of H4. These empirical results imply that ingredient overclaims and consumer trust affect loyalty through distinct, separate mechanisms rather than an integrated sequential pathway. Alternative underlying variables, such as consumer satisfaction—which successfully mediated loyalty outcomes in the works of Abigail et al. (2024) and Ma'azzah and Prasetyo (2023)—may provide a more comprehensive framework for explaining how marketing claims indirectly impact repeat consumption.

CONCLUSION

Overclaimed ingredients in digital marketing have a significant positive effect on consumer trust and consumer loyalty, which is opposite to the expected negative direction. Consumer trust has a significant positive effect on consumer loyalty but does not mediate the effect of overclaimed ingredients on loyalty. The model explains 28.8% of the variance in loyalty and 11.9% in trust, so other factors are involved. Brands should provide transparent, evidence-based ingredient information and invest in product quality and customer experience to maintain loyalty. Future studies should add variables such as satisfaction, product quality, and brand image, and use more diverse samples. Limitations include the cross-sectional design, self-reported data, and a sample that cannot be generalized to other populations.

REFERENCES

Abigail, J., Sari, V. P., & Saputra, D. (2024). The influence of product quality and online 6*(2), 1311-1324* https://doi.org/10.52970/grmilf.v6i2.2057

Astriana, D. A. (2019). Kepuasan pelanggan sebagai variabel intervening: Pengaruh experiential marketing terhadap loyalitas (Studi pada pelanggan Molak Malik Cafe Kota Pasuruan). Jurnal Ilmu Manajemen (JIM), 7(4), 1145–1153.

Atulkar, S. (2020). Brand trust and brand loyalty in mall shoppers. Marketing Intelligence & Planning, 38(5), 559–572. https://doi.org/10.1108/MIP-02-2019-0095.

Alviansha, A., Tambunan, K., & Aslami, N. (2025). Examining the Determinants of Consumer Trust in Local Skincare Marketing: Overclaim, Perceived Product Quality, and Influencers. Dinar: Jurnal Ekonomi dan Keuangan Islam, 12*(2), 171–188. https://doi.org/10.21107/dinar.v12i2.27412*

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.). SAGE Publications.

Dilla, S. F., & Ngatno, N. (2020). Pengaruh Harga dan Experiential Marketing Terhadap Loyalitas Pelanggan Melalui Kepuasan Konsumen Sebagai Variabel Intervening Pada Konsumen General Repair PT Nasmoco Pemuda Semarang. Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis, 9(4), 599–608. https://doi.org/10.14710/jiab.2020.28892

Genoveva, G., & Simatupang, K. (2025). Understanding Consumer Trust and Loyalty: The Impact of Brand Image and Online Reviews on Nivea Sunscreen in Jakarta. KINERJA, 29*(2),189-203.* https://doi.org/10.24002/kinerja.v29i2.11243

Guerreiro, J., & Pacheco, M. (2021). How green trust, consumer brand engagement, andgreen word-of-mouthmediate purchasing intentions. Sustainability, 13*(14), 7877.* https://doi.org/10.3390/su13147877

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). Partial

Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R: A Workbook. Springer https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3rd ed.). SAGE Publications.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. European Business Review, 31(1), 2–24. https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. Journal of Marketing Theory and Practice, 19*(2), 139–151.*

Haudi, H., Handayani, W., Wijoyo, H., Yonata, H., & Cahyono, Y. (2022). The effect of social media marketing on brand trust, brand equity, and brand loyalty. International Journal of Data and Network Science, 6(3), 961–972. https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2022.1.01

Hutabarat, R. S., & Prabawani, B. (2020). Pengaruh Kualitas Produk dan Experiential Marketing terhadap Loyalitas Konsumen melalui Kepuasan Konsumen (Studi pada Konsumen Starbuck Coffee Signatures Semarang). Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis, 9(2), 108–117. https://doi.org/10.14710/jiab.2020.27218

Jo, H., & Bang, Y. (2024). Navigating the omnichannel landscape: Unraveling the antecedents of customer loyalty. SAGE Open, 14(1), 1–15. https://doi.org/10.1177/21582440241234567

Kozik, N. (2024). Analysis of product claims on natural cosmetics packages. IBIMA Business Review, 2024, Article 391232. https://doi.org/10.5171/2024.391232

Kwon, J. H., Jung, S. H., Choi, H. J., & Kim, J. (2020). Antecedent factors that affect restaurant brand trust and brand loyalty: Focusing on US and Korean consumers. Journal of Product & Brand Management, 30(7), 990–1015. https://doi.org/10.1108/JPBM-02-2020-2768

Larasati, A. W., & Perkasa, D. H. (2026). Brand trust as a determinant of consumer loyalty: An empirical study on skincare brands. Golden Ratio of Mapping Idea and Literature Format*, 6(2), 1311–1324. https://doi.org/10.52970/grmilf.v6i2.2057*

Ma'azzah, N., & Prasetyo, A. (2023). The influence of brand image on consumer loyalty through consumer satisfaction as intervening variable on skincare products. Airlangga Journal of Innovation Management*, 4(2), 219-228* https://doi.org/10.20473/ajim.v4i2.50401

Mismiwati, M. (2019). Pengaruh kepuasan pelanggan, kualitas produk, dan experiential marketing terhadap word of mouth pada Percetakan Sabilul Haq. I-ECONOMICS: A Research Journal on Islamic Economics, 5(1), 19–30.

Muljani, N. (2021). Pengaruh Experiential Marketing Terhadap Loyalitas Pelanggan Dimediasi Oleh Kepuasan Pelanggan (Studi Pada Restoran Boncafe di Surabaya). Procuratio: Jurnal Ilmiah Manajemen, 9(2), 210–221.

O'Higgins, B., & Fatorachian, H. (2025). Consumer trust in artificial intelligence in the UK and Ireland's personal care and cosmetics sector. Cogent Business & Management*, 12(1), 2469765.*https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2469765

Rifaldi, M. F., Harahap, D. A., & Rohandi, M. M. A. (2024). Trend Overclaim dalam Iklan Industri Kecantikan: Analisis Etika Terapan pada Produk Skincare di Indonesia. Sentralisasi: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Social, 13(1), 45–58.

Sekaran, U., & Bougie, R. (2020). Research methods for business: A skill-building approach (8th ed.). John Wiley & Sons.

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). Research methods for business students (8th ed.). Pearson Education.

Waluyo, D. (2023, November 6). Fenomena Cantik Industri Kosmetik. Indonesia.go.id. https://indonesia.go.id/kategori/editorial/7767/fenomena-cantik-industri-kosmetik

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SCROLLING, FOMO, AND BUYING: THE INFLUENCE OF TIKTOK CONTENT ON PURCHASE DECISIONS AMONG GENERATION Z CONSUMERS OF GLAD2GLOW

Irawati Sijabat
Genoveva Genoveva
School of Business, President University, Indonesia

ABSTRACT
Indonesia has the largest TikTok audience worldwide, and TikTok has become a main channel through which skincare trends reach Generation Z. Glad2Glow ranked third among skincare brands on Shopee in the first quarter of 2025 (2.51% market share). However, market-share data do not show which TikTok-related factors influence consumers' purchase decisions. This study examines the effects of TikTok Content Virality, Review Credibility, and Social Media Exposure on Purchase Decision for Glad2Glow skincare products among Generation Z, with Fear of Missing Out (FOMO) as a mediator within the Stimulus–Organism–Response framework. An online survey was distributed to Generation Z TikTok users familiar with Glad2Glow. Of 206 responses, 6 were excluded at eligibility screening and 60 at data-quality screening, leaving 140 for PLS-SEM analysis in SmartPLS 4.0. All three stimuli were positively associated with FOMO ($\beta = 0.358$, 0.233, and 0.244; $p < 0.05$). FOMO's effect on Purchase Decision was not significant ($\beta = 0.157$, $p = 0.102$), and none of the three indirect effects were significant. Review Credibility ($\beta = 0.490$) and Social Media Exposure ($\beta = 0.207$) had significant direct effects on Purchase Decision, whereas TikTok Content Virality did not. R^2 was 0.490 for FOMO and 0.489 for Purchase Decision. Because respondents were not required to have purchased Glad2Glow and the design is cross-sectional and self-reported, the results are associations, not causal effects.
Keywords: TikTok Content Virality, Review Credibility, Social Media Exposure, Fear of Missing Out, Purchase Decision, Generation Z, PLS-SEM.

INTRODUCTION
The development of digital media has changed how consumers search for information, form preferences, and make purchasing decisions. Social media platforms are no longer used only for communication and entertainment; they also function as commercial environments where consumers encounter product information, reviews, recommendations, and emerging trends. This transformation is particularly visible in the beauty and skincare industry, where visual demonstrations, product reviews, tutorials, and influencer content can shape how consumers learn about products and evaluate alternatives. Generation Z is an important audience in this context because of its active participation in social media and frequent exposure to digital trends (Abdalla et al., 2025; Angelique et al., 2025).

TikTok has become a prominent channel for the circulation of short-form video content (Genoveva, 2022). Its recommendation environment can expose users to recurring topics and product-related videos (Klug et al., 2021; Boeker & Urman, 2022), while sharing and engagement can contribute to the spread of content across user networks (Kaye et al., 2021). In April 2026, Indonesia had the largest TikTok audience among the countries reported, with approximately 222.58 million accounts (Maheswara, 2026). This figure indicates the scale of the platform's reach, although account counts should not be interpreted as an exact count of unique individual users. For skincare brands, TikTok therefore provides an environment in which product tutorials, reviews, and recommendations can reach a large audience.

Glad2Glow provides a relevant case for examining this context. The brand ranked third among the top-selling skincare brands on Shopee in the first quarter of 2025, with a reported market share of 2.51% (Wafa, 2025). This position indicates market presence, but it does not identify which forms of TikTok content are associated with consumers' purchase decisions. Brand visibility and market performance are not interchangeable with an explanation of the decision-making process. The managerial issue addressed in this study is therefore not simply whether consumers recognize Glad2Glow, but which TikTok-related stimuli are associated with their evaluation and purchase decision.

Three TikTok-related stimuli are examined in this study. TikTok Content Virality concerns the perceived spread and popularity of Glad2Glow-related content (Kaye et al., 2021; Klug et al., 2021). Review Credibility concerns whether consumers regard product reviews as believable and trustworthy

(Ngo et al., 2024; Ranjith et al., 2025). Social Media Exposure refers to consumers' encounters with Glad2Glow-related content across social media (Marsella & Aisyah, 2025). These constructs are related but conceptually distinct: virality concerns the circulation of content, credibility concerns the perceived trustworthiness of review information, and exposure concerns the frequency or extent of encountering content. Prior research has examined the role of social media content, online reviews, and digital engagement in consumer responses (Abdalla et al., 2025; Ilyas et al., 2022).

One possible psychological response to these stimuli is Fear of Missing Out (FOMO), commonly understood as concern that others may be experiencing rewarding events or opportunities from which an individual is absent (Jaworska, 2025). In social media settings, recurring exposure to popular products, trends, and other users' experiences may contribute to this feeling. Previous research has connected FOMO with consumers' purchase likelihood and responses to social media content (Good & Hyman, 2020; Ilyas et al., 2022). In the Glad2Glow context, FOMO has been associated with purchasing decisions (Ali et al., 2025), as it has in the Indonesian beauty sector (Dewi & Martini, 2025). Nevertheless, the presence of FOMO does not necessarily mean that a consumer will proceed to a purchase decision; the relationship requires empirical testing in the specific product and platform context.

The Stimulus–Organism–Response (S-O-R) framework provides the theoretical basis for the proposed model. The framework explains how environmental stimuli are associated with an individual's internal state, which may then be related to a behavioral response (Mehrabian & Russell, 1974; Hochreiter et al., 2023). In this study, TikTok Content Virality, Review Credibility, and Social Media Exposure are positioned as stimuli; FOMO represents the organism; and Purchase Decision represents the response. The framework is used to test both the direct paths from the three stimuli to Purchase Decision and the indirect paths through FOMO.

Although previous studies have examined social media marketing, online reviews, and FOMO in consumer contexts, fewer studies have tested content virality, review credibility, and social media exposure together in one integrated model focused on Glad2Glow among Generation Z consumers in Indonesia. Existing studies also commonly examine FOMO in relation to one stimulus at a time or use purchase intention and impulse buying as outcomes (Abidin et al., 2026; Agustino et al., 2026; Ghinarahima & Idulfilastri, 2024; Habib & Almamy, 2025; Mutiarasari et al., 2025). In the Glad2Glow context, FOMO has been examined as one of several parallel predictors of purchase decision rather than as a mediator linking TikTok stimuli to the decision (Ali et al., 2025). The present study addresses this gap by distinguishing three TikTok-related stimuli and testing FOMO's proposed mediating role while also estimating the direct paths to Purchase Decision. Accordingly, the study aims to examine the influence of the three stimuli on FOMO and Purchase Decision, and to determine whether FOMO mediates these influences.

Based on the S-O-R framework and the studies above, seven hypotheses are proposed (Figure 1). TikTok Content Virality (H1), Review Credibility (H2), and Social Media Exposure (H3) positively influence FOMO among Generation Z toward Glad2Glow skincare products. FOMO positively influences Purchase Decision (H4). FOMO mediates the influence of TikTok Content Virality (H5), Review Credibility (H6), and Social Media Exposure (H7) on Purchase Decision. Because the S-O-R framework does not exclude a direct link between stimulus and response, the direct paths from the three stimuli to Purchase Decision are also estimated as additional paths.

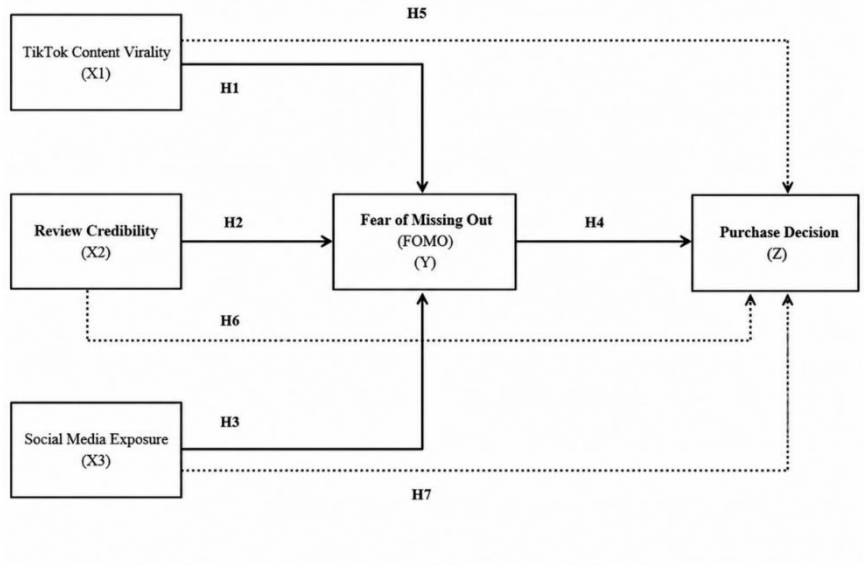


Figure 1. Research Framework

Source: Researcher's framework, based on the proposed S-O-R model.

RESEARCH AND FINDINGS

Research Methodology

This study employed a quantitative, explanatory survey design. The target population consisted of Generation Z in Indonesia who actively used TikTok and were familiar with Glad2Glow skincare products. A purposive sampling technique was used because respondents had to meet the study's screening criteria. Data were collected through an online questionnaire created using Google Forms, using a five-point Likert scale (1 = strongly disagree, 5 = strongly agree). Eligible respondents were Generation Z, active TikTok users who had seen Glad2Glow content, and familiar with Glad2Glow skincare products; they did not have to be Glad2Glow customers. The instrument measured TikTok Content Virality, Review Credibility, Social Media Exposure, FOMO, and Purchase Decision using reflective indicators.

Before the main survey, the questionnaire was pilot-tested on 17 July 2026 with 50 respondents from the target population, which exceeds the minimum of about 30 respondents recommended for assessing questionnaire reliability (Bujang et al., 2024). A priori power analysis using G*Power 3.1.9.7 (medium effect size, $f^2 = 0.15$; $\alpha = 0.05$; power = 0.80; four predictors) indicated a minimum sample requirement of 85 respondents. The final sample of 140 therefore exceeded the calculated minimum. The data were analyzed using PLS-SEM in SmartPLS 4.0, which is suitable for models with several constructs and a mediator and for small to moderate samples (Hair & Alamer, 2022; Hair et al., 2022). The measurement model was evaluated through outer loadings, Average Variance Extracted (AVE), discriminant validity, and internal consistency reliability. The structural model was evaluated through collinearity statistics, R^2, f^2, PLSpredict, and bootstrapping for direct and specific indirect effects.

Respondent Screening and Characteristics

A total of 206 responses were initially collected. Six responses were excluded during eligibility screening, leaving 200 eligible responses. A further data-quality review identified 26 straight-lined responses and 58 later occurrences of exact duplicate response patterns. Because 24 responses overlapped between the two exclusion categories, the number of unique responses excluded at this stage was 60 (26 + 58 − 24). The final dataset used in SmartPLS therefore consisted of 140 responses.

Table 1. Respondent Screening Process

Screening stage	Number of responses
Initial responses collected	206
Excluded at eligibility screening	6
Eligible responses	200
Straight-lined responses	26
Duplicate responses (later occurrences)	58
Overlap between data-quality rules	24
Unique exclusions at data-quality screening	60
Final dataset used in SmartPLS	140

Source: Primary survey data and data-quality screening, processed by the researcher (2026).

The final sample comprised 103 female respondents (73.6%) and 37 male respondents (26.4%). Regarding education, the largest group held a D3/Diploma qualification (35.7%), followed by senior high school (27.9%) and a bachelor's degree (26.4%). Most respondents reported using TikTok for 1–3 hours per day (52.1%).

Table 2. Respondent Profile

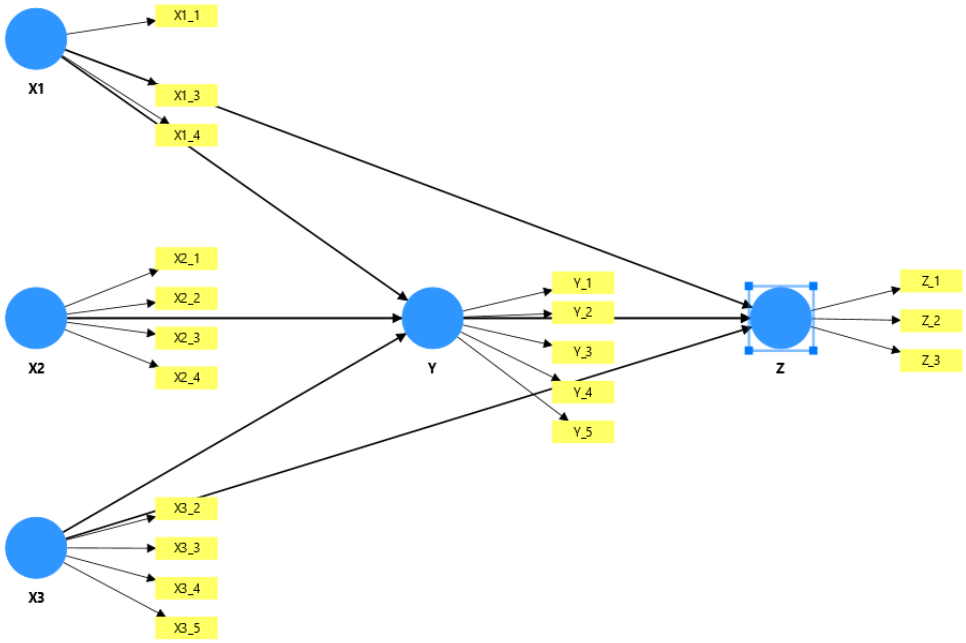
Characteristic	Category	Frequency	Percentage
Gender	Female	103	73.6%
Gender	Male	37	26.4%
Last education	SMP / Junior High School	2	1.4%
Last education	SMA/SMK / Senior High School	39	27.9%
Last education	D3 / Diploma	50	35.7%
Last education	S1 / Bachelor's Degree	37	26.4%
Last education	Other	12	8.6%
TikTok use per day	Less than 1 hour	18	12.9%
TikTok use per day	1–3 hours	73	52.1%
TikTok use per day	3–5 hours	41	29.3%
TikTok use per day	More than 5 hours	8	5.7%

Source: Primary survey data, processed by the researcher (2026).

Measurement Model Assessment

The initial measurement model contained 22 indicators. Three indicators, X1.2 (0.628), X1.5 (0.679), and X3.1 (0.693), were removed because their outer loadings were below the recommended 0.70 criterion (Hair et al., 2022). The model was re-estimated with 19 indicators. The final outer loadings ranged from 0.736 to 0.857, and all retained indicators met the specified threshold.

Figure 2. Final Measurement Model (Outer Model)



Source: Researcher's SmartPLS 4.0 output (2026).

Table 3. Final Outer Loadings

Construct	Indicator	Outer loading
TikTok Content Virality	X1.1	0.766
TikTok Content Virality	X1.3	0.857
TikTok Content Virality	X1.4	0.815
Review Credibility	X2.1	0.834
Review Credibility	X2.2	0.770
Review Credibility	X2.3	0.796
Review Credibility	X2.4	0.749
Social Media Exposure	X3.2	0.774
Social Media Exposure	X3.3	0.738
Social Media Exposure	X3.4	0.736
Social Media Exposure	X3.5	0.738
FOMO	Y1.1	0.758
FOMO	Y1.2	0.771
FOMO	Y1.3	0.851
FOMO	Y1.4	0.772
FOMO	Y1.5	0.850
Purchase Decision	Z1.1	0.815
Purchase Decision	Z1.2	0.782
Purchase Decision	Z1.3	0.801

Source: SmartPLS 4.0 processed data (2026).

Convergent validity was further assessed using AVE. All five constructs exceeded 0.50, with values ranging from 0.557 to 0.661. Discriminant validity was assessed using the Fornell–Larcker criterion and HTMT. The square roots of AVE exceeded the inter-construct correlations, and all HTMT values were below the 0.90 threshold (Hair et al., 2022). However, the HTMT values between Review Credibility and Social Media Exposure (0.888) and between Review Credibility and Purchase Decision (0.875)

were close to the threshold and should be interpreted with care.

Table 4. Convergent Validity and Reliability

Construct	AVE	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho_c)
TikTok Content Virality	0.661	0.744	0.854
Review Credibility	0.621	0.797	0.867
Social Media Exposure	0.557	0.737	0.834
FOMO	0.642	0.860	0.900
Purchase Decision	0.639	0.719	0.842

Source: SmartPLS 4.0 processed data (2026).

Table 5. HTMT Discriminant Validity Results

Construct pair	HTMT
FOMO – Purchase Decision	0.625
FOMO – Review Credibility	0.688
FOMO – Social Media Exposure	0.701
FOMO – TikTok Content Virality	0.738
Purchase Decision – Review Credibility	0.875
Purchase Decision – Social Media Exposure	0.796
Purchase Decision – TikTok Content Virality	0.444
Review Credibility – Social Media Exposure	0.888
Review Credibility – TikTok Content Virality	0.654
Social Media Exposure – TikTok Content Virality	0.640

Source: SmartPLS 4.0 processed data (2026).

Internal consistency reliability was acceptable. Cronbach's alpha values ranged from 0.719 to 0.860, while composite reliability (rho_c) ranged from 0.834 to 0.900. These results indicate that the retained indicators demonstrated acceptable consistency for the five constructs.

Structural Model Assessment

Collinearity was assessed using the Variance Inflation Factor (VIF). The reported VIF values ranged from 1.414 to 2.140, remaining below the 5.00 threshold. This indicates that collinearity was not a critical concern in the estimated structural model.

Table 6. Collinearity Statistics (VIF)

Predictor	FOMO	Purchase Decision
TikTok Content Virality	1.414	1.666
Review Credibility	2.034	2.140
Social Media Exposure	1.979	2.096
FOMO	—	1.961

Source: SmartPLS 4.0 processed data (2026).

The coefficient of determination (R^2) was 0.490 for FOMO (adjusted R^2 = 0.479) and 0.489 for Purchase Decision (adjusted R^2 = 0.474). Thus, the predictors explained 49.0% of the variance in FOMO and 48.9% of the variance in Purchase Decision. Approximately half of the variance in each endogenous construct remained unexplained by the model. These values are just below the 0.50 benchmark for moderate explanatory power (Hair et al., 2022).

Table 7. Coefficient of Determination

Endogenous construct	R^2	Adjusted R^2
FOMO	0.490	0.479
Purchase Decision	0.489	0.474

Source: SmartPLS 4.0 processed data (2026).

PLSpredict produced positive Q^2predict values of 0.454 for FOMO and 0.443 for Purchase Decision. The comparison with the linear-model benchmark was mixed: PLS-SEM had lower RMSE for six of eight indicators, but lower MAE for only four of eight indicators. The model therefore showed predictive relevance, although its predictive performance was not consistently better than the linear benchmark.

Table 8. PLSpredict Summary

Construct	Q^2predict	RMSE	MAE
FOMO	0.454	0.750	0.587
Purchase Decision	0.443	0.762	0.622

Source: SmartPLS 4.0 PLSpredict results (2026).

Hypothesis Testing and Discussion

Bootstrapping was used to assess the direct paths and specific indirect effects. A relationship was considered statistically significant when $p < 0.05$. Figure 3 summarizes the final structural paths and their estimated coefficients. The diagram is a redrawn presentation of the reported SmartPLS estimates, not a screenshot of the SmartPLS interface.

Table 9. Direct Effects and Hypothesis Testing

Path	β	t-statistic	p-value	95% CI	Decision
TikTok Content Virality → FOMO	0.358	3.800	<0.001	[0.160, 0.531]	Supported
Review Credibility → FOMO	0.233	2.529	0.011	[0.060, 0.423]	Supported
Social Media Exposure → FOMO	0.244	2.753	0.006	[0.069, 0.416]	Supported
FOMO → Purchase Decision	0.157	1.635	0.102	[−0.035, 0.339]	Not supported
TikTok Content Virality → Purchase Decision	−0.110	1.171	0.242	[−0.275, 0.091]	Not supported
Review Credibility → Purchase Decision	0.490	5.105	<0.001	[0.294, 0.673]	Significant direct path
Social Media Exposure → Purchase Decision	0.207	2.084	0.037	[0.012, 0.403]	Significant direct path

Source: SmartPLS 4.0 bootstrapping results (2026).

The results support H1, H2, and H3. TikTok Content Virality has the strongest positive association with FOMO (β = 0.358, $p < 0.001$), followed by Social Media Exposure (β = 0.244, $p = 0.006$) and Review Credibility (β = 0.233, $p = 0.011$). These findings indicate that the perceived spread of Glad2Glow content, exposure to that content, and confidence in reviews are each associated with respondents' FOMO. Among the three stimuli, perceived virality makes the largest relative contribution to FOMO, consistent with the S-O-R proposition that environmental stimuli are associated with internal psychological states. This agrees with studies reporting that viral or attractive TikTok content is related to FOMO (Abidin et al., 2026; Agustino et al., 2026; Lesmana, 2025).

H4 is not supported because the influence of FOMO on Purchase Decision is not statistically significant (β = 0.157, $p = 0.102$; 95% CI [−0.035, 0.339]). The confidence interval includes zero. Thus, the analysis does not provide sufficient evidence that FOMO is associated with Purchase Decision in this sample. Respondents were not required to have previously purchased Glad2Glow, and the outcome should not

be interpreted as verified completed purchase behavior. This differs from studies that found a significant effect of FOMO on purchase decisions (Ali et al., 2025; Dewi & Martini, 2025). A possible explanation, which was not tested in this study, is that Purchase Decision here reflects comparison and consideration based on TikTok information, whereas FOMO is more often linked to impulsive buying (Fitria et al., 2026).

Among the additional direct paths to Purchase Decision, Review Credibility has the largest positive coefficient and a statistically significant association ($\beta = 0.490$, $p < 0.001$). Social Media Exposure is also positively associated with Purchase Decision ($\beta = 0.207$, $p = 0.037$), although its confidence interval is relatively close to zero and the result warrants cautious interpretation. TikTok Content Virality does not have a statistically significant direct association with Purchase Decision ($\beta = -0.110$, $p = 0.242$). The relative effect sizes also show that Review Credibility has the largest contribution to Purchase Decision ($f^2 = 0.219$), whereas the effect of TikTok Content Virality is negligible ($f^2 = 0.014$).

Specific indirect effects were examined to test whether FOMO mediates the influence of the three stimuli on Purchase Decision. None of the indirect effects was statistically significant, and all corresponding 95% confidence intervals included zero. Therefore, H5, H6, and H7 are not supported. Review Credibility and Social Media Exposure show significant direct paths to Purchase Decision, but the proposed indirect paths through FOMO are not supported. TikTok Content Virality has neither a significant direct path nor a significant indirect path to Purchase Decision in the final model.

Table 10. Specific Indirect Effects

Indirect path	β	t-statistic	p-value	95% CI	Decision
TikTok Content Virality → FOMO → Purchase Decision	0.056	1.543	0.123	[−0.020, 0.128]	Not supported (H5)
Review Credibility → FOMO → Purchase Decision	0.037	1.247	0.212	[−0.009, 0.104]	Not supported (H6)
Social Media Exposure → FOMO → Purchase Decision	0.038	1.380	0.168	[−0.011, 0.099]	Not supported (H7)

Source: SmartPLS 4.0 bootstrapping results (2026).

Taken together, the findings provide partial support for the S-O-R framework. The three TikTok-related stimuli are significantly associated with FOMO, but the proposed FOMO-to-Purchase Decision path and the three mediation paths are not statistically supported. This pattern suggests that FOMO does not transmit the associations between the examined stimuli and Purchase Decision in this sample. The strong Review Credibility path should also be considered alongside the HTMT values close to 0.90 between Review Credibility and Social Media Exposure and between Review Credibility and Purchase Decision, which indicate that these constructs are empirically distinct under the selected threshold but conceptually close.

As a robustness check, the model was also estimated using all 200 eligible responses. The direction and significance decisions for all seven direct paths and the three specific indirect effects were the same as in the main analysis, although R^2 was higher (0.604 for FOMO and 0.583 for Purchase Decision) and several path coefficients were larger. The conclusions therefore do not depend on the data-quality exclusions, but the size of the estimates does.

CONCLUSION

This study examined the influence of TikTok Content Virality, Review Credibility, and Social Media Exposure on Purchase Decision among Generation Z consumers familiar with Glad2Glow skincare products in Indonesia, while testing the mediating role of FOMO. Based on the final sample of 140

respondents, all three TikTok-related stimuli were positively and significantly associated with FOMO. TikTok Content Virality showed the strongest association with FOMO, followed by Social Media Exposure and Review Credibility.

However, FOMO was not significantly associated with Purchase Decision, and none of the three indirect effects through FOMO were significant. Review Credibility and Social Media Exposure had significant positive direct associations with Purchase Decision, whereas TikTok Content Virality did not. Accordingly, H1–H3 were supported, while H4–H7 were not supported. The results indicate that credible reviews and social media exposure were more directly associated with Purchase Decision than FOMO in the estimated model.

Theoretically, the findings offer partial support for the S-O-R framework in this setting: the stimulus variables were associated with the organism variable, but the organism-to-response path was not statistically supported. Managerially, skincare marketers may prioritize accurate product information, transparent and verifiable reviews, and useful content that supports product evaluation. TikTok virality may help create awareness and FOMO, but the results do not show that virality alone is associated with Purchase Decision. Marketers should therefore avoid relying solely on trend pressure and should provide clear information about product characteristics and suitability.

Several limitations should be acknowledged. The study used purposive sampling and cross-sectional self-reported data, so causal conclusions and broad generalizations are not warranted. Respondents were not required to have purchased Glad2Glow; therefore, Purchase Decision scores should not be treated as verified transaction records. The sample was also gender-imbalanced, and the HTMT values for Review Credibility with Social Media Exposure and Purchase Decision were close to 0.90, suggesting possible construct proximity. In addition, the final sample resulted from data-quality exclusions (although a sensitivity analysis with all 200 eligible responses did not change any hypothesis decision), and the model explained approximately 49% of the variance in each endogenous construct. The age range also included respondents younger than 18, and no parental-consent procedure was used. Future studies should use more balanced samples, establish purchase-history criteria when examining completed purchases, validate the measurement instrument through formal content assessment, and consider longitudinal or experimental designs.

REFERENCES

Abdalla, R., Faizal, S., Menon, N., & Mohammed, A. (2025). From scroll to sale: how social media triggers and age shape digital consumer decisions through interaction. *Frontiers in Communication*, *10*. https://doi.org/10.3389/fcomm.2025.1664694

Abidin, A. N., Wisnalmawati, W., & Religia, Y. (2026). Development of a Consumer Purchase Model for Skincare Products on Tiktok Shop with Fear of Missing Out (FOMO) as a Mediation Variable. *Strata Business Review*, *4*(1), 1–16. https://doi.org/10.59631/sbr.v4i1.473

Agustin, N., Lianti, P., & Alfizi, A. (2026). The Effect of Fomo, Perceived Scarcity, and Price Discounts on Impulse Buying Behavior in Tiktok Shop. *International Journal of Economics and Management Research*, *5*(1), 01–04. https://doi.org/10.55606/ijemr.v5i1.596

Agustino, C. B., Trisnawati, J. D., & Kusumawardhany, P. A. (2026). Turning Hype into Intention: FoMO Mediated Effects of TikTok Influence on Sustainable Buying. *Dinasti International Journal of Education Management and Social Science*, *7*(3), 2684–2697. https://doi.org/10.38035/dijemss.v7i3.5987

Aini, N. Q., & Zagladi, A. N. (2025). TikTok sebagai Media Pemasaran Digital : Efek Influencer Marketing dan E-WOM terhadap Keputusan Pembelian Produk Skincare. *Studi Akuntansi, Keuangan, Dan Manajemen*, *4*(2), 265–274. https://doi.org/10.35912/sakman.v4i2.3799

Ali, R. S., Mulyana, A., & Lisnawati, W. (2025). The Influence of Live Streaming, Online Reviews, and Fear Of Missing Out (FOMO) on Purchasing Decisions of Glad2glow Products on TikTok from the Israf Behavior Perspective. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *4*(3), 492–532. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2039

Angelique, M., Mark, Sotto, & Ryan, B. J. (2025). Influence of Tiktok Trends on the Buying Intentions of Gen-Zs. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, *IX*(XIV), 438–452. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.914MG0034

Arum, P. (2025). *Who owns the skincare brand Glad2Glow?* https://www.fortuneidn.com/business/siapa-pemilik-brand-skincare-glad2glow-ini-profilnya-00-d1ssd-hcjvp3

Asyahidda, F. N., & Azis, A. (2024). Konformitas dan Penyimpangan: Perspektif Sosiologis tentang Pengalaman FoMO di Kalangan Generasi Z pada Media Sosial TikTok. *Jurnal Socius: Journal of Sociology Research and Education*, *11*(2), 120–132. https://doi.org/10.24036/scs.v11i2.708

Athaya, N. S., & Wandebori, H. (2024). Analyzing Factors That Affect Purchasing Decisions For Beauty Products Through Tiktok Review Videos. *Journal Integration of Social Studies and Business Development*, *2*(1), 35–42. https://doi.org/10.58229/jissbd.v2i1.186

Baumann, F., Arora, N., Rahwan, I., & Czaplicka, A. (2025). *Dynamics of Algorithmic Content Amplification on TikTok*. https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-026-00629-2

Boeker, M., & Urman, A. (2022). An Empirical Investigation of Personalization Factors on TikTok. *WWW 2022 - Proceedings of the ACM Web Conference 2022*, 2298–2309. https://doi.org/10.1145/3485447.3512102

Bujang, M. A., Omar, E. D., Foo, D. H. P., & Hon, Y. K. (2024). Sample size determination for conducting a pilot study to assess reliability of a questionnaire. In *Restorative Dentistry and Endodontics* (Vol. 49, Number 1). Korean Academy of Conservative Dentistry. https://doi.org/10.5395/rde.2024.49.e3

Dewi, I. A. S. A., & Martini, I. A. O. (2025). From Social Media to Checkout: The FoMO Phenomenon in Indonesia's Beauty Sector. *JBTI : Jurnal Bisnis : Teori Dan Implementasi*, *16*(1), 69–89. https://doi.org/10.18196/jbti.v16i1.26000

Dinh, T. C. T., Wang, M., & Lee, Y. (2023). How Does the Fear of Missing Out Moderate the Effect of Social Media Influencers on Their Followers' Purchase Intention? *SAGE Open*, *13*(3). https://doi.org/10.1177/21582440231197259

Faris, A. N. Al, Seyma, Q. N., Soegiarto, A., Imsa, M. A., & Kholik, A. (2025). Pengaruh Kredibilitas Konten TikTok @dokterdetektif terhadap Minat Beli Produk Skincare. *MUKASI: Jurnal Ilmu Komunikasi*, *4*(3), 496–510. https://doi.org/10.54259/mukasi.v4i3.4353

Fitri, H., Hariyono, D. S., & Arpandy, G. A. (2024). Pengaruh Self-Esteem Terhadap Fear Of Missing Out (Fomo) pada Generasi Z Pengguna Media Sosial. *Jurnal Psikologi*, *1*(4), 21. https://doi.org/10.47134/pjp.v1i4.2823

Fitria, A., Sulton, M., Purwanti, I., & Darianto. (2026). Pengaruh influencer Marketing dan Shopping lifestyle terhadap impulsive buying: peran Fear of Missing Out (FoMO) sebagai Variabel Mediasi (Studi pada Generasi Z Pengguna Tiktok Shop di Lamongan). *JSMA (Jurnal Sains Manajemen Dan Akuntansi)*, *17*(2), 310–330. https://doi.org/10.37151/jsma.v17i2.278

Fitriawati, V., & Muanas, A. (2025). The Influence of Content Marketing, Influencers, and Online Customer Reviews on Purchasing Decisions for Glad2Glow Products on TikTok Shop. *Paradoks : Jurnal Ilmu Ekonomi*, *8*(3), 808–823. https://doi.org/10.57178/paradoks.v8i3.1410

Genoveva, G. (2022). Tiktok Platform Opportunity: How Does it Influence SMES Brand Awareness among Generation Z? *SRIWIJAYA INTERNATIONAL JOURNAL OF DYNAMIC ECONOMICS AND BUSINESS*, 273–282. https://doi.org/10.29259/sijdeb.v5i3.273-282

Ghinarahima, C. N., & Idulfilastri, R. M. (2024). The Role of FoMO as a Bridge in Social Media Usage on Impulsive Skincare Product Buying Habits. *Rita Markus Idulfilastri INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, *4*, 4316–4329. https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/16446#:~:text=Penggunaan%20media%20sosial%20memengaruhi%20cara%20seseorang%20berbelanja%2C%20terutama,mediator%20antara%20penggunaan%20media%20sosial%20dan%20pembelian%20impulsif.

Good, M. C., & Hyman, M. R. (2020). 'Fear of missing out': antecedents and influence on purchase likelihood. *Journal of Marketing Theory and Practice*, *28*(3), 330–341. https://doi.org/10.1080/10696679.2020.1766359

Habib, S., & Almamy, A. (2025). Impact of FOMO on social media engagement and impulse buying of lifestyle products: mediation analysis. *Journal of Innovative Digital Transformation*, *2*(2), 176–195. https://doi.org/10.1108/jidt-01-2025-0004

Hair, J., & Alamer, A. (2022). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) in second

language and education research: Guidelines using an applied example. *Research Methods in Applied Linguistics*, *1*(3), 100027. https://doi.org/10.1016/j.rmal.2022.100027
Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M. R., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*.
Hochreiter, V., Benedetto, C., & Loesch, M. (2023). The Stimulus-Organism-Response (S-O-R) Paradigm as a Guiding Principle in Environmental Psychology: Comparison of its Usage in Consumer Behavior and Organizational Culture and Leadership Theory 1. *Journal of Entrepreneurship and Business Development*, *3*(1), 7–16. https://doi.org/10.18775/jebd.2806-8661.2021.31.5001
Ilyas, G. B., Rahmi, S., Tamsah, H., & Yusriadi, Y. (2022). Does fear of missing out give satisfaction in purchasing based on social media content? *International Journal of Data and Network Science*, *6*(2), 409–418. https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2021.12.013
Jaworska, D. (2025). Many faces of FoMO: A qualitative in-depth investigation of context-specific experiences, emotions, and coping strategies. *PLOS ONE*, *20*(9 September). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330978
Joseph F. Hair, G. T. M. H. C. M. R. M. S. (2022). *A primer on partial least sqares structural equation modeling (PLS-SEM)*.
Kamil, A. M. H., Rasmana, I., Fauziyah, R., & Yudawisastra, H. G. (2025). Analisis FOMO (Fear of Missing Out) Trend Tiktok Produk Skintint Merek Wardah. *Ekopedia: Jurnal Ilmiah Ekonomi*, *1*(4), 3611–3615. https://doi.org/10.63822/mm4jwv15
Kaye, D. B. V., Chen, X., & Zeng, J. (2021). The co-evolution of two Chinese mobile short video apps: Parallel platformization of Douyin and TikTok. *Mobile Media and Communication*, *9*(2), 229–253. https://doi.org/10.1177/2050157920952120
Klug, D., Qin, Y., Evans, M., & Kaufman, G. (2021). Trick and Please. A Mixed-Method Study on User Assumptions about the TikTok Algorithm. *ACM International Conference Proceeding Series*, 84–92. https://doi.org/10.1145/3447535.3462512
Kurniawan, F. R., Manik, D. G. I., Amanda, D. D., & Abillah, A. (2025). Pengaruh Media Sosial Terhadap Perilaku Konsumsi Skincare Gen Z. *ROE: Research of Economics and Business*, *1*(1), 28–42. https://doi.org/10.70895/roe.v1i1.23
Lesmana, A. (2025). The Role of TikTok Content Virality in Shaping Gen Z's Purchase Intentions. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 893–897. https://doi.org/10.37034/infeb.v7i4.1301
Maheswara, R. (2026). *Indonesia became the country with the most TikTok users in April 2026.* https://dataloka.id/humaniora/6567/indonesia-jadi-negara-pengguna-tiktok-terbanyak-april-2026/
Marsella, M. W., & Aisyah, R. A. (2025). *Factors Influencing Purchase Intention for Moisturizer Skincare Products on TikTok* (Vol. 3). https://doi.org/https://doi.org/10.47747/snfmi.v3i1.3221
Mehrabian, A., & Russell, J. (1974). *An Approach to Environmental Psychology*.
Mufti, R. D. W., & Hariyanto, D. (2025). Pengaruh Content Marketing di Tiktok dan FOMO (Fear Of Missing Out) terhadap Impulsive Buying pada Mahasiswa UMSIDA. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik (JISIP)*, *14*(1), 68–79. https://doi.org/10.33366/jisip.v14i1.3173
Mutiarasari, N. A. G., Aditasari, K., & Kiswardani, W. E. (2025). From Brand Credibility to Skincare Purchase Intention: The Mediating Role of Fear of Missing Out in E-Commerce. In *Journal of Islamic Economic and Business* (Vol. 7, Number 4). https://ejournal.iainpalopo.ac.id/index.php/alkharaj/article/view/8662
Ngo, T. T. A., Vuong, B. L., Le, M. D., Nguyen, T. T., Tran, M. M., & Nguyen, Q. K. (2024). The impact of eWOM information in social media on the online purchase intention of Generation Z. *Cogent Business and Management*, *11*(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2316933
Ningrum, S. T., & Hayuningtias, K. A. (2026). The Influence of User-Generated Content and Electronic Word of Mouth (e-WOM) on TikTok on Gen Z Purchase Intentions toward Ella Skincare. *Golden Ratio of Mapping Idea and Literature Format*, *6*(2), 1526–1541. https://doi.org/10.52970/grmilf.v6i2.2037
Octaffiana, E., & Rahmiati, F. (2022). ONLINE REVIEWS BY BEAUTY VLOGGERS OF LOCAL LIPSTICKS PRODUCT IMPACT ON PURCHASE INTENTION. In *Indonesian Marketing Journal* (Vol. 2, Number 1). https://doi.org/10.19166/imj.v2i1.5869
Perintis br lumban gaol, F., Mariska Purwaamijaya, B., & Sarah, S. (2023). The Influence of Viral Marketing and Influencer Marketing Against Purchase Intention TikTok Account @Somethincofficial.

Indonesian Journal of Digital Business, *3*(1), 45–52. https://doi.org/10.17509/ijdb.v3i1.57837
Poh, S., Hasan, D. G., & Sudiyono, K. A. (2024). The power of social commerce: TikTok's impact on Gen Z consumer purchasing behavior. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, *23*(2), 501–515. https://doi.org/10.24123/jmb.v23i2.835
Prasetyo, S. D. K., & Sobari, N. (2024). Checkout or Scroll Down? Investigating TikTok' Influencer Credibility Effects on Followers' Purchase Intentions. *Jurnal Manajemen Teori Dan Terapan| Journal of Theory and Applied Management*, *17*(3), 454–471. https://doi.org/10.20473/jmtt.v17i3.58532
Putra, K. A., & Bangsawan, S. (2022). The influence of electronic word of mouth through Tiktok on purchasing intention of skincare products in Indonesia. *Asian Journal of Economics and Business Management*, *1*(3), 312–323. https://doi.org/10.53402/ajebm.v1i3.254
Putri, A. S., & Prakoso, B. R. (2025). The Influence of TikTok's Algorithm on Content Consumption Patterns of Generation Z in Indonesia: A Behavioral Analysis and Engagement Strategy Study. *Education : Jurnal Sosial Humaniora Dan Pendidikan*, *5*(3), 25–35. https://doi.org/10.51903/q72r8m61
Rachmad, K. R. B., & Sutarso, Y. (2020). Analysis and Mapping of Jepara Regency's Leading Local Products as an Effort to Improve the Regional Economy Based on Local Economy. *Jurnal Riset Manajemen Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Widya Wiwaha Program Magister Manajemen*, *7*(2), 95–104. https://doi.org/10.32477/jrm.v7i2.199
Rahman, A., Ariandi, F., Arista, R., Utama, D. C., & Warsono. (2025). The Effect of Influencer Credibility and User Reviews on Skincare Purchase Decisions: Evidence from Shopee Users in Bogor. *Golden Ratio of Mapping Idea and Literature Format*, *6*(1), 931–940. https://doi.org/10.52970/grmilf.v6i1.1776
Ramadhan, H. A. R., Yeni, T., Misbak, & Muthiarsih, T. (2025). *TikTok as a Marketing Medium: The Influence of User Generated Content (UGC) and Viral Marketing on Online Purchase Decisions on Glad2Glow Skincare Products*. *6*(2), 282–291. https://doi.org/https://doi.org/10.46336/ijbesd.v6i2.945
Ramadhani, S., & Putri, K. A. S. (2024). Gen Z's Impulse Buying Behavior of Skincare Product: The Role of FOMO, Celebrity Endorser and Hedonism. *ILTIZAM Journal of Shariah Economics Research*, *8*(2), 219–237. https://doi.org/10.30631/iltizam.v8i2.2776
Rani, S., & Singh, P. (2026). Influencer Marketing In The Skincare Industry: Dual Empirical Perspectives On Credibility And Technology Acceptance. *Issue 1. Ser*, *28*, 31–33. https://doi.org/10.9790/487X-2801063133
Ranjith, P., Nisansala, S., Jayasingha, N., Weerasekara, K., Wisenthige, K., & Dayapathirana, N. (2025). Does social media information credibility influence social commerce purchase intention of skincare products? Evidence from Facebook. *PLOS ONE*, *20*(10 October). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0334126
Rathnayake, R. A. S. D., & Lakshika, V. G. P. (2023). Impact Of Social Media Influencers' Credibility on The Purchase Intention: Reference to The Beauty Industry. *Asian Journal of Marketing Management*, *2*(01), 2820–2082. https://doi.org/10.31357/ajmm.v2i01.6254
Ringle, C. M., Sarstedt, M., Sinkovics, N., & Sinkovics, R. R. (2023). A perspective on using partial least squares structural equation modelling in data articles. *Data in Brief*, *48*. https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109074
Roemer, E., Schuberth, F., & Henseler, J. (2021). HTMT2–an improved criterion for assessing discriminant validity in structural equation modeling. *Industrial Management and Data Systems*, *121*(12), 2637–2650. https://doi.org/10.1108/IMDS-02-2021-0082
Safitri, D. A., Sobari, R. A., & Dedu, M. (2025). The Influence of Marketing Content, Online Customer Review, EWOM on the Decision to Purchase Moisturizer Products on the Tiktok Application. *Journal of World Science*, *4*(4), 396–408. https://doi.org/10.58344/jws.v4i4.1388
Salim, S., & Habsi, A. (2024). Ethical Considerations in Obtaining Informed Consent in Research Participation. *International Journal of Educational Contemporary Explorations*, *1*(1), 24–33. https://doi.org/10.69481/DIVL1152
Salsabila, N. A., & Lubis, H. (2024). The Fear of Missing Out (FOMO) Phenomenon of Cosmetic Product Trends on the TikTok Application among Female Students. *Indonesian Journal of Business Economics and Management*, *3*(1), 17–26. https://doi.org/10.57152/ijbem.v3i1.1331
Setiawan, A., Gabriella, T., Darmawan, W., & Rakasiwi, Y. (2024). Investigating e-WOM via TikTok

Impact on Purchase Intention: Brand “S.” *R2J*, *6*(4). https://doi.org/10.38035/rrj.v6i4
Siregar, N. F., Hartoyo, & Ali, M. M. (2024). Model of Forming Purchase Intention For Skincare Products Through Tiktok Social Media With Theory of Planned Behavior Analysis. *Jurnal Aplikasi Bisnis Dan Manajemen*, *10*(2), 479. https://doi.org/10.17358/jabm.10.2.479
Sugiyono. (2016). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF*.
Surucu, L., & Maslakci, A. (2020). VALIDITY AND RELIABILITY IN QUANTITATIVE RESEARCH. *Business & Management Studies: An International Journal*, *8*(3), 2694–2726. https://doi.org/10.15295/bmij.v8i3.1540
Syahrivar, J., Chairy, C., Rahadi, D. R., Najib, M., & Gyulavári, T. (2025). Fake It Till You Make It: Crazy Rich Asian Influencers in Luxury Brand Promotion. *Journal of Promotion Management*, *31*(5), 831–864. https://doi.org/10.1080/10496491.2025.2515133
Tarwanto, I. B., Rahadi, D. R., & Liswandi. (2026). Understanding Generation Z Purchase Intention in the Digital Era: Combined Effect of Social Media Influence, Digital Identity and Consumer Values. *Journal of Economics, Finance And Management Studies*, *09*(05), 2232–2241. https://doi.org/10.47191/jefms/v9-i5-05
Utami, S. D., & Lestari, E. J. (2025). EXPLORING THE INFLUENCE OF SOCIAL MEDIA MARKETING, EWOM, AND BRAND IMAGE IN INCREASING PURCHASE INTENTION FOR NPURE PRODUCTS ON TIKTOK (A CASE STUDY ON GEN Z IN YOGYAKARTA). *IJMA (Indonesian Journal of Management and Accounting)*, *6*(2), 163. https://doi.org/10.21927/ijma.2025.6(2).163-175
Wafa, I. (2025). *10 best-selling skincare brands on Shopee Indonesia 2025, which one is your favorite?* https://data.goodstats.id/statistic/10-brand-skincare-terlaris-di-shopee-indonesia-2025-mana-favoritmu-9jroA
Wan Zurey, W. N., Wan-Zainal Shukri, W.-H., Mustafa, E., Ali, A., Abdul Rahman, A. R., & Jaafar, S. N. ‘Afifah. (2025). Beyond the hype: Investigating theory of planned behavior in TikTok marketing for food products. *Journal of Nusantara Studies (JONUS)*, *10*(2), 390–416. https://doi.org/10.24200/jonus.vol10iss2pp390-416
Widyanto, H. A., & Agusti, C. R. (2020). Beauty influencer in the digital age: How does it influence purchase intention of generation Z? *Jurnal Manajemen Dan Pemasaran Jasa*, *13*(1), 1–16. https://doi.org/10.25105/jmpj.v13i1.5453
Yuliyanti, E. T., Nasution, U. C. M., & Mulyati, A. (2025). Pengaruh FoMO, Endorsement Influencer, e-WOM di Media Sosial TikTok Terhadap Keputusan Pembelian Brand Somethinc pada Generasi Z di Surabaya Timur. *Harmoni: Jurnal Ilmu Komunikasi Dan Sosial*, *3*(1), 116–131. https://doi.org/10.59581/harmoni-widyakarya.v3i2.5128
Zhang, X., & Rosli, N. (2025). FOMO, Social Validation and Impulse Buying in Live Streaming E-Commerce. *Journal of Ecohumanism*, *4*(1), 4049–4063. https://doi.org/10.62754/joe.v4i1.6278
Zhang, Y. (2025). Caught in the loop: the role of volitional control in the FoMO and social media addiction cycle. *Frontiers in Psychology*, *16*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1583921

POLYNOMIAL STABILITY OF STRONGLY COUPLED HYPERBOLIC SYSTEMS WITH INTERNAL DAMPING AND IMPLICIT INFINITE-MEMORY EFFECTS

ADDOUN Rayan Ikram
LIMOS Laboratory; Dynamics of Engines and Vibroacoustics Laboratory
University M'hamed Bougara of Boumerdes, Algeria

Abstract
Memory effects play an important role in the mathematical modelling of physical and engineering systems, since the present dynamics may depend on the entire history of the system. This work examines a strongly coupled hyperbolic system incorporating an implicit infinite-memory term involving a fractional operator, together with a time-dependent internal damping mechanism. The study aims to understand how hereditary effects and fractional dynamics influence the long-time behaviour and stability of coupled evolution systems. Under suitable assumptions on the memory functional and the damping coefficient, we establish the stability properties of the system and determine the decay rate of its solutions. Using an abstract semigroup formulation, well-posedness is obtained in an appropriate Hilbert space. Polynomial stability is then derived through frequency-domain analysis and resolvent estimates on the imaginary axis. The analysis highlights the interaction between the memory-amplitude parameter and the fractional exponent as a key factor governing the asymptotic behaviour of the system, and yields an explicit polynomial decay estimate. The contribution lies in treating strong coupling, time-dependent internal damping and implicit fractional infinite memory within a unified operator-theoretic framework, thereby describing their combined influence on long-term stability.
Keywords: Polynomial stability; strongly coupled hyperbolic systems; internal damping; implicit infinite memory; fractional operators; semigroup theory; frequency-domain methods.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INTEGRATED ERT–IP INVESTIGATION FOR TIN–LITHIUM MINERALIZATION TARGET DELINEATION IN NASARAWA–EGGON AREA, NASARAWA STATE, NIGERIA

A. M. Alwali
Ochepo Oloche
Department of Physic, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria
Abdullahi Bala Abdullahi
[2]Department of Physic, Federal University Gashua, Nigeria

ABSTRACT
Rare-metal pegmatites in the Nasarawa–Eggon area of north-central Nigeria are important sources of lithium (Li), tin (Sn), niobium (Nb) and tantalum (Ta). This study employed integrated Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Induced Polarization (IP) methods to delineate and prioritize prospective pegmatite bodies for rare-metal exploration. Geophysical data were acquired along sixteen profiles using an ABEM SAS 4000 Terrameter with 5 m electrode spacing. The apparent resistivity and chargeability data were processed and inverted using RES2DINV to generate two-dimensional subsurface models. The results revealed numerous high-resistivity anomalies distributed across the sixteen profiles, interpreted as prospective pegmatitic bodies. Integration with the IP models identified nine profiles (P1, P3, P4, P5, P6, P8, P10, P12 and P16) exhibiting coincident resistivity and chargeability anomalies. Among these, Profiles 1, 3, 4, 5, 6 and 8 demonstrated the clearest integrated responses and were ranked as the highest-priority exploration targets. Profiles 5 and 6 were particularly significant, each revealing two distinct coincident resistivity–chargeability targets. Additional resistivity-dominant anomalies were delineated on Profiles 2, 7, 11, 13, 14 and 15, indicating further prospective pegmatite occurrences. Overall, the results demonstrate the effectiveness of integrating ERT and IP methods in delineating subsurface pegmatitic bodies, identifying anomalous zones and establishing exploration priorities. The identified targets provide a geophysical framework for subsequent geological mapping, geochemical sampling and mineralogical investigations to evaluate the potential for Sn–Li-bearing pegmatite mineralization in the study area.
Keywords: Electrical Resistivity Tomography, Induced Polarization, Pegmatites, Lithium, Tin, Rare-metal exploration

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EXISTENCE OF SOLUTIONS FOR NONLINEAR FRACTIONAL BOUNDARY VALUE PROBLEM DEPENDING ON MIXED BOUNDARY CONDITIONS

Pr. NOUREDDINE BOUTERAA
Oran Graduate School of Economics, Algeria.
Laboratory of Fundamental and Applied Mathematics of Oran (LMFAO), University of Oran1, Ahmed Benbella. Algeria.

ABSTRACT
This paper investigates a class of mixed non-linear fractional boundary value problems where the derivative is taken in the conformable sense. The primary contribution of our work is the application of the fixed point theorem of Benmezai et al. to this conformable fractional framework. By doing so, we establish novel existence and uniqueness results for solutions to this broader class of problems, thereby extending the applicability of recent theoretical tools
to modern fractional derivative models.
Keywords: Conformable fractional derivative,Riemann-Liouville fractional derivative,fixed point theorems,boundary value problem

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL RESEARCH

CONSTANTINESCU Richard
VORONEANU-POPA Rareș-Vasile
Affiliation: ”Grigore T. Popa” University of Medicine and Pharmacy of Iași

Artificial intelligence has become an increasingly prominent topic of discussion, with a growing number of international scientific conferences focusing on AI and the implications arising from its development and use. Considerable attention is also being devoted to how artificial intelligence can be employed in research, particularly in the medical field, where research outcomes ultimately affect, directly or indirectly, individuals in need of medical care.
Against this background, the scientific literature is increasingly addressing the ethical challenges associated with the use of artificial intelligence in research. How data are processed, what information is entered into AI systems, and how accurately the resulting outputs are interpreted are just some of the fundamental questions that naturally arise when considering the intersection of artificial intelligence and scientific research.
Furthermore, ethical standards governing medical research must also take into account one of the major challenges humanity will face in the coming years: the protection of research data. This issue is particularly significant in the medical field, where inadequate data protection practices may have direct and potentially harmful consequences for patients.
Keywords: Artificial Intelligence; Medical Research; Research Ethics.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SUBSURFACE DELINEATION OF LEAD–ZINC MINERALIZATION USING 2D ELECTRICAL RESISTIVITY AND INDUCED POLARIZATION IMAGING IN AMERİ, SOUTHEASTERN NIGERIA

A. M. Alwali
Abdullahi Bala Abdullahi
Ochepo Oloche
Department of Physic, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Lead–zinc (Pb–Zn) mineralization is an important metallogenic resource of the Lower Benue Trough, southeastern Nigeria, where delineation of concealed mineralized structures requires reliable subsurface investigation. This study evaluated the prospectivity of Ameri, Ebonyi State, for Pb–Zn mineralization using integrated electrical resistivity and induced polarization (IP) imaging. Data were acquired along three profiles using the dipole–dipole electrode array with 5 m electrode spacing. Apparent resistivity and chargeability data were processed and inverted using RES2DINV, and the resulting two-dimensional models were interpreted jointly to identify coincident geophysical anomalies. The resistivity models delineated two principal low-resistivity zones on each profile, while the corresponding IP models revealed two zones of elevated chargeability interpreted as potential mineralization targets. On Profile 1, the targets occur at depths of 12.4–20.1 m and 11.6–19.4 m; on Profile 2, at 11.2–20.1 m and 12.6–21.7 m; and on Profile 3, at 12.4–22.8 m and 10.6–20.3 m. The resistivity inversion root-mean-square (RMS) errors were 7.6%, 8.5% and 5.8% for Profiles 1, 2 and 3, respectively, whereas the corresponding chargeability RMS errors were 6.9%, 11.8% and 9.4%. The spatial association of low-resistivity and elevated-chargeability responses provides a basis for prioritising these zones for follow-up exploration. The results demonstrate the utility of integrated resistivity and IP imaging for delineating shallow subsurface targets at Ameri. Nevertheless, the anomalies are geophysical indicators and do not independently confirm Pb–Zn mineralization; geological mapping, geochemical sampling and drilling are therefore recommended for verification and evaluation of ore grade and continuity, guiding subsequent field verification and target prioritisation.

Keywords: Lead–zinc mineralization; Electrical resistivity tomography; Induced polarization; Dipole–dipole array; RES2DINV; Lower Benue Trough.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

UNIQUE FACTORIZATION IN LEFT ALMOST GROUP RINGS

Zakia Mahnaz
Nisar Ahmad
Institute of Numerical Sciences, Kohat University of Science and Technology, Kohat 26000, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan

ABSTRACT
A left almost group (LA-group) is a groupoid with a left identity and inverses that satisfies the left invertive law (xy)z = (zy)x in place of associativity. This work constructs the group ring RL of an LA-group L over a commutative ring R and develops a theory of unique factorization for it. Writing L as an abelian group G with an involutive automorphism, the product of RL becomes the ordinary product of the group ring R[G] after an involution σ is applied to the first factor. We show that RL is an LA-ring with a unique left identity that satisfies the medial and paramedial laws, and that it is associative exactly when the involution is trivial. Its augmentation, units, ideals and zero divisors are described, and for G = $\mathbb{Z}^2$ there are exactly four such rings over a field. Since a product in RL depends on how it is bracketed, we record the bracketing by a binary tree and give an explicit formula for the value of every bracketed product. Using a definition of factorization that respects brackets, we prove that RL has unique factorization if and only if R[G] is a unique factorization domain, with the same sets of lengths. Examples show that the conditions on G cannot be removed.
Keywords: Left Almost Group, Left Almost Ring, Group Ring, Unique Factorization, Involution

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DUST EXPOSURE, ALLERGIC RHINITIS AND RESPIRATORY HEALTH DURING HARMATTAN: PRACTICAL DAILY MODIFICATIONS FOR PREVENTION AND SYMPTOM MANAGEMENT

Ibrahim Sani Dikko
Department of Biochemistry,
Faculty of Natural and Applied Sciences
Umaru Musa Yar'adua University, Katsina, Nigeria.
ORCID: 0009-0006-1401-5117

Abstract
The Harmattan season in West Africa is characterised by dry, cold air, reduced humidity and increased atmospheric dust, exposing populations to environmental conditions that may adversely affect respiratory health. During this period, complaints such as persistent sneezing, nasal congestion, watery nasal discharge, throat irritation and coughing become common, particularly among individuals with allergic tendencies. Exposure to airborne particulate matter can irritate the respiratory tract, compromise normal mucosal defence mechanisms and aggravate pre-existing allergic conditions. Allergic rhinitis, an inflammatory disorder of the nasal mucosa mediated by immunological responses to environmental allergens, may consequently become more troublesome under these conditions. Despite the recurring nature of these seasonal complaints, many people rely on temporary remedies without adequately addressing daily exposure and environmental risk factors. This review examines the relationship between Harmattan-related dust exposure, allergic rhinitis and respiratory health, with particular attention to practical daily modifications that may help reduce exposure and manage symptoms. It considers the biological mechanisms through which airborne particles interact with the respiratory mucosa, promote inflammation and influence allergic responses. Particular emphasis is placed on preventive measures, including the use of appropriate face masks during outdoor activities, regular cleaning of indoor environments using damp methods, limiting exposure to dusty conditions, maintaining adequate hydration and practising nasal hygiene with sterile saline preparations. The potential contribution of balanced nutrition, particularly adequate consumption of fruits and vegetables containing antioxidant nutrients, to normal immune function is also discussed. Furthermore, the review examines established medical approaches to symptom management, including antihistamines and intranasal corticosteroids, while highlighting the importance of appropriate medical assessment for persistent or severe symptoms. By bringing together environmental, immunological and lifestyle considerations, this review highlights the importance of simple, consistent preventive practices during the Harmattan season. It also emphasises the need for increased public awareness and accessible respiratory health education, particularly in dust-prone communities across Nigeria and the wider West African region. Adopting appropriate daily habits may help reduce exposure, improve symptom control and support respiratory health throughout the season.
Keywords: Harmattan; Dust Exposure; Allergic Rhinitis; Respiratory Health; Nasal Hygiene; Preventive Health.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

TWISTED PRODUCT OF LEFT ALMOST MONOIDS

Nasra Gulfam
Nisar Ahmad
Institute of Numerical Sciences, Kohat University of Science and Technology, Kohat 26000, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan

ABSTRACT
Classical twisted products of monoids depend on associativity, both in the definition of the product and in the cocycle condition that makes it well behaved. Left almost monoids (LA-monoids), also called Abel-Grassmann monoids, are not associative in general; they satisfy the left invertive law $(ab)c = (cb)a$ instead. This thesis develops a theory of twisted products for LA-monoids. Let $(M', +)$ be a commutative monoid, let $(S', \cdot)$ be an LA-monoid with left identity e, let $q \in M'$ be fixed and let $\Phi : S' \times S' \to \mathbb{N}$ be a twisting map. On $M' \times S'$ we define $(i, a) * (j, b) = (i + j + \Phi(a, b)q, ab)$. We prove that if Φ satisfies the LA-cocycle condition $\Phi(a, b) + \Phi(ab, c) = \Phi(c, b) + \Phi(cb, a)$, then the twisted product $M' \times_\Phi S'$ satisfies the left invertive law, and that under the normalization $\Phi(e, a) = 0$ the element $(0, e)$ is its unique left identity. Normalized LA-cocycles are shown to be symmetric, so that the twisted product is commutative exactly when S' is commutative. We then study the fiber decomposition of LA-twisted products over S', their sub-LA-monoids, idempotents (which form a semilattice), regular elements, ideals, Green's L-relation, homomorphisms and isomorphisms. When M' is an abelian group, the twisted product is regular exactly when S' is regular, and cohomologous twists give isomorphic products. Using partition diagrams, we construct LA-monoids of diagrams by composing the reflection of one diagram with another, and we show that counting the floating components produced by this composition gives a normalized LA-cocycle. The results are illustrated on the finite LA-monoid $\mathbb{Z}_3$ with $a \cdot b = b - a$, on the infinite LA-monoid $\mathbb{Z}$ and on LA-monoids of diagrams.
Keywords: Left Almost Monoid, Twisted Product, Cocycle, Green's Relations, Partition Diagram

INTEGRATED AREA DEVELOPMENT AS A POLICY APPROACH FOR SUSTAINABLE COMMUNITY AND NATURAL RESOURCE DEVELOPMENT IN PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE, INDONESIA

Hanna Syafira
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia
ORCID ID: 0009-0003-2113-1851
Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia
ORCID ID: 0000-0003-2667-4911
Siti Fatimah Az-Zahra Widyasari
Study Program of Biology Education, Department of Natural Science and Mathematics, Faculty of Teaching and Education Science, University of Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia
ORCID ID: 0009-0002-9582-1858

ABSTRACT
Integrated Area Development (IAD) has emerged as a policy approach for integrating social, economic, ecological, and institutional dimensions of development within forest-dependent landscapes. In Indonesia, Presidential Regulation No. 28 of 2023 promotes integrated planning for Social Forestry through a holistic, integrative, thematic, and spatial approach involving multiple stakeholders. Pesawaran Regency provides an important case because the local government has established an Integrated Area Development Masterplan for 2024–2030 through Regent Regulation No. 52 of 2024. This study aims to analyze the policy rationale, integration dimensions, stakeholder arrangements, and implementation priorities of IAD in Pesawaran Regency. A descriptive policy analysis was conducted using policy documents, government publications, and relevant scientific literature. The analysis focused on social empowerment, economic development, ecological sustainability, institutional collaboration, and implementation capacity. The results indicate that the Pesawaran IAD framework links Social Forestry with agroforestry, agroindustry, ecotourism, environmental services, community empowerment, and biodiversity conservation. However, implementation remains dependent on effective institutional coordination, financing, market access, community capacity, and integrated monitoring. Evidence from Pesawaran and broader Social Forestry research indicates that natural resource management capacity, institutional arrangements, financing, and coordination are important determinants of implementation success. Therefore, strengthening IAD requires a shift from program coordination toward outcome-oriented integration through stronger local value chains, community enterprises, diversified financing, multi-stakeholder collaboration, and measurable socioeconomic and ecological indicators. IAD can serve as a strategic policy mechanism for linking community welfare, local economic development, and sustainable natural resource management in Pesawaran Regency.
Keywords: Integrated Area Development, Social Forestry, agroforestry, community welfare, natural resource management, Pesawaran Regency

1. INTRODUCTION

Forest-dependent landscapes face the challenge of simultaneously improving community livelihoods and maintaining ecological sustainability. Communities living in and around forest areas often depend on land and forest resources for agricultural production and other livelihood activities, while these landscapes also provide important ecosystem services and support biodiversity conservation. Therefore, development interventions in forest landscapes cannot focus solely on economic production without considering their environmental consequences. Agroforestry has increasingly been recognized as an approach

with the potential to connect agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being (Castle *et al*., 2021). Similarly, the integration of community-based forest management with biodiversity conservation is important for ensuring that livelihood development does not undermine ecological functions (Gunawan *et al*., 2022). These conditions demonstrate the importance of development approaches that integrate community welfare with sustainable natural resource management.

In Indonesia, Social Forestry has become an important policy approach for providing communities with legal access to forest resources and supporting livelihood development. Through Social Forestry schemes, communities are expected to strengthen their capacity to manage forest resources while developing sustainable economic activities. However, the provision of access and legal rights alone does not automatically guarantee successful socioeconomic or environmental outcomes (Rakatama and Pandit, 2020). The implementation of Social Forestry involves various challenges related to institutional capacity, community capability, economic development, and the coordination of supporting policies and programs. These challenges indicate that the effectiveness of Social Forestry depends not only on forest access but also on the broader institutional and development ecosystem supporting community-based forest management (Ardyanto *et al*., 2026).

The need to address these interconnected challenges has encouraged the development of more integrated approaches to Social Forestry management. Presidential Regulation of the Republic of Indonesia No. 28 of 2023 promotes integrated planning for accelerating Social Forestry management through coordination across sectors and levels of government (Government of Indonesia, 2023). Within this broader policy direction, Integrated Area Development (IAD) provides an area-based approach for connecting Social Forestry with regional development and other relevant economic, social, and environmental programs. Studies examining IAD-based approaches in Indonesia have also highlighted the importance of integrating Social Forestry into broader regional development planning (Rafiuddin *et al*., 2025). Such integration is expected to reduce fragmented interventions by linking community-based forest management with wider development objectives and landscape-based planning.

Pesawaran Regency, Lampung Province, provides an important local context for examining the implementation of this integrated policy approach. The Government of Pesawaran Regency established the Masterplan of Integrated Area Development for 2024–2030 through Regent Regulation No. 52 of 2024 (Government of Pesawaran Regency, 2024). The dissemination of the IAD framework has also been supported by the provincial forestry sector (Dinas Kehutanan Provinsi Lampung, 2024). This policy framework seeks to connect Social Forestry with broader community and regional development priorities within the Pesawaran landscape.

Empirical evidence from the Pesawaran Forest Management Unit has further examined the relationship between resource management capacity, economic welfare, and the effectiveness of the IAD program (Wulandari *et al*., 2026). These policy and empirical developments make Pesawaran a relevant case for examining how Integrated Area Development can serve as a policy approach linking community development with sustainable natural resource management.

Existing studies have examined the opportunities and challenges of Social Forestry, its socioeconomic and ecological outcomes, and the effectiveness of Integrated Area Development programs. However, less attention has been given to examining how the IAD policy framework integrates social, economic, ecological, and institutional dimensions within a specific local development context. In particular, a policy-oriented analysis is needed to understand how national policy directions are translated into local planning frameworks and how the resulting

policy architecture can support integrated community and natural resource development. Therefore, this study aims to analyze Integrated Area Development as a policy approach for sustainable community and natural resource development in Pesawaran Regency, Indonesia. The study specifically examines the policy rationale underlying IAD, the integration of key development dimensions within the policy framework, and the strategic priorities required to support effective implementation.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Research approach

This study employed a descriptive policy analysis approach to examine the policy design and strategic orientation of Integrated Area Development (IAD) in Pesawaran Regency, Lampung Province, Indonesia. The approach was selected because the study did not aim to statistically test the causal effects of IAD. Instead, it examined how the policy defines development problems, establishes objectives and priorities, identifies relevant actors, and provides programs and implementation mechanisms for integrated area development.

The study combined document analysis with thematic policy analysis. Relevant policy provisions and supporting documents were systematically reviewed and interpreted according to the analytical dimensions established in this study. This approach is consistent with policy-oriented research on Indonesian Social Forestry that uses official policy documents, government reports, institutional publications, and scientific literature to examine policy design and implementation through descriptive and thematic qualitative analysis. The approach enabled the study to examine IAD not only as a formal policy document but also as a framework for integrating different dimensions of community and natural resource development.

2.2. Study area

The study was conducted in Pesawaran Regency, Lampung Province, Indonesia, with particular attention to the Integrated Area Development landscape associated with the Pesawaran Forest Management Unit. Pesawaran was selected as a case study because the regency has formally established an Integrated Area Development Masterplan for 2024–2030 through Regent Regulation of Pesawaran No. 52 of 2024.

The policy identifies IAD as a development approach connected to Social Forestry and organizes development activities within an area-based and landscape-oriented framework. The Pesawaran case is particularly relevant because it provides an opportunity to examine how the national policy direction for integrated Social Forestry development is translated into a local planning framework. The study therefore focuses on the policy architecture and strategic orientation of IAD rather than evaluating the statistical impact of individual development programs.

2.3. Data sources

Three categories of secondary data were used in this study.

The first category consisted of primary policy documents that formed the main basis of the analysis:

1. Presidential Regulation of the Republic of Indonesia No. 28 of 2023 concerning Integrated Planning for the Acceleration of Social Forestry Management;
2. Regent Regulation of Pesawaran No. 52 of 2024 concerning the Masterplan of Integrated Area Development of Pesawaran Regency; and
3. the Pesawaran Integrated Area Development Masterplan for 2024–2030.

These documents were used to identify policy objectives, strategic priorities, development programs, stakeholder arrangements, implementation mechanisms, and the broader policy direction of Integrated Area Development.

The second category consisted of government documents and official publications, particularly information published by the Ministry of Forestry of the Republic of Indonesia and the Forestry Service of Lampung Province. These sources were used to provide contextual information concerning the

development of Social Forestry, IAD implementation, institutional involvement, financing initiatives, and relevant development priorities.

The third category consisted of scientific literature related to Social Forestry, Integrated Area Development, agroforestry, community welfare, Social Forestry entrepreneurship, collaborative governance, natural resource management, and biodiversity conservation. The scientific literature was used to provide theoretical and empirical perspectives for interpreting the policy framework and identifying factors that may influence the implementation and effectiveness of IAD.

2.4. Analytical framework

The IAD policy framework was analyzed using five interconnected dimensions:

1. Social integration, referring to community empowerment, participation, and capacity development;
2. Economic integration, referring to productive activities, entrepreneurship, value-added development, market access, and community welfare;
3. Ecological integration, referring to sustainable resource management, ecosystem services, biodiversity, and landscape sustainability;
4. Institutional integration, referring to stakeholder involvement, collaborative governance, coordination, and the alignment of institutional roles; and
5. Implementation capacity, referring to the practical conditions required to translate policy objectives into coordinated and sustainable outcomes, including capacity development, financing, market access, coordination, and monitoring.
6.

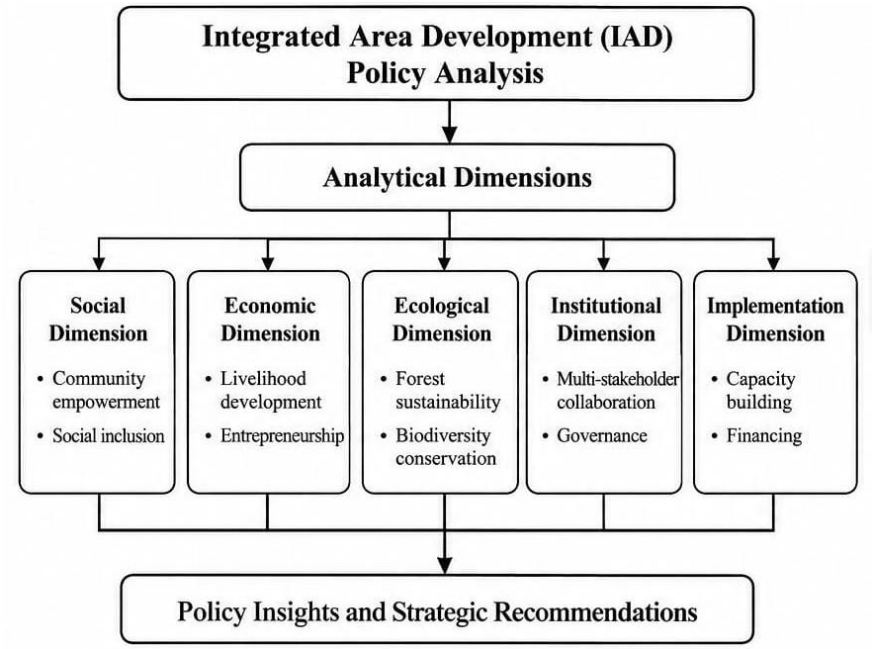


Figure 1. Analytical framework of the study

Each dimension was examined using four analytical questions:

a) What does the policy intend to integrate?
b) Who is involved in the implementation process?
c) What instruments, programs, or mechanisms are provided?
d) What implementation issues may influence policy effectiveness?

These analytical questions were used to systematically examine the relationship between policy design and potential implementation challenges.

2.5. Analytical procedure

The analysis was conducted through four stages.

Stage 1: Policy identification. Relevant national and local policies, government documents, official publications, and supporting scientific literature were identified according to their relevance to Integrated Area Development and Social Forestry development.

Stage 2: Policy extraction. Relevant information was extracted from the selected documents, including policy objectives, development priorities, programs, stakeholders, institutional arrangements, funding mechanisms, target locations, and indicators.

Stage 3: Thematic coding. The extracted information was categorized according to the five analytical dimensions: social integration, economic integration, ecological integration, institutional integration, and implementation capacity.

Stage 4: Policy interpretation. The policy design and extracted findings were interpreted in relation to evidence from Social Forestry and Integrated Area Development literature. This stage was used to identify the strengths of the policy framework, potential implementation gaps, and strategic priorities for strengthening the implementation of IAD in Pesawaran Regency.

3. RESULTS AND DISCUSSION

1.1 Policy rationale for IAD in Pesawaran

The first important finding is that IAD in Pesawaran was designed as a response to the need to coordinate development activities surrounding forest areas. The Pesawaran Masterplan identifies the need to optimize community development programs around forest areas and recognizes that programs and activities involving different regional government organizations and institutions may operate independently. IAD is therefore positioned as an approach for integrating groups according to landscape characteristics and local potential.

This policy rationale is consistent with the national framework. Presidential Regulation No. 28 of 2023 requires Social Forestry acceleration to be planned in an integrated manner across sectors and administrative levels.

3.2 Social and Economic Integration

The social and economic dimensions of Integrated Area Development are closely interconnected because sustainable forest management ultimately depends on the ability of local communities to develop viable and sustainable livelihoods. Social Forestry provides communities with opportunities to participate in the management and utilization of forest resources. However, the provision of forest access should be understood as an initial condition rather than the final objective of community-based forest development. The long-term contribution of Social Forestry depends on whether communities are able to transform available natural resources into productive economic activities that generate sustainable benefits. Therefore, the development pathway can be understood as a progression from Social Forestry access to community capacity, entrepreneurship, income generation, and ultimately community welfare.

Community capacity represents an important foundation within this process. Forest access may create new opportunities, but communities require knowledge, skills, organizational capacity, and institutional support to manage these opportunities effectively. Rakatama and Pandit (2020) identified that the implementation of Social Forestry in Indonesia involves diverse opportunities and challenges, indicating that policy success cannot be determined solely by the provision of access rights. Communities also require supporting conditions that enable them to manage forest resources and develop economically viable activities. In this context, capacity development becomes an important element for transforming forest management rights into practical social and economic benefits.

The economic contribution of Social Forestry is also associated with the ability of communities to generate income from forest-based and land-based activities. Nakayama et al. (2024) examined the contribution of Social Forestry to farmers' income, demonstrating the importance of evaluating whether community-based forest management can produce tangible economic benefits. However, income generation should not be viewed only in terms of increasing the volume of primary production. Communities may obtain greater and more sustainable economic benefits when forest and agricultural products are connected to processing activities, product diversification, and value-added development.

This perspective is particularly relevant to Integrated Area Development because IAD provides a broader framework for connecting production activities with supporting economic systems.

The development of Social Forestry entrepreneurship is therefore an important component of social and economic integration. Kusuma et al. (2024) highlighted the relationship between entrepreneurship capital and the performance of Social Forestry entrepreneurship groups. This demonstrates that productive community enterprises require more than the availability of natural resources. Entrepreneurship development is influenced by the capacity and resources that enable groups to organize production, manage businesses, develop products, and respond to economic opportunities. Within the IAD framework, the development of community enterprises can be supported through integrated interventions involving capacity building, business development, access to finance, technology, and market connections.

The importance of connecting economic activities with broader development support is also evident in the case of Pesawaran. Wulandari et al. (2026) examined the relationships between resource management capacity, economic welfare, and the effectiveness of the Integrated Area Development program in the Pesawaran Forest Management Unit. The study provides important local evidence that the capacity of communities to manage resources and their economic conditions are closely associated with the broader effectiveness of development interventions. This suggests that the implementation of IAD should not focus exclusively on physical programs or individual economic activities but should also consider the capacity of communities to manage and sustain the benefits generated through those interventions.

From a policy perspective, social and economic integration within IAD should therefore support a transition from forest access toward sustainable forest-based livelihoods. This transition requires the development of productive enterprises, the creation of value-added products, strengthened entrepreneurship, improved market access, and continuous community capacity development. These elements should not operate as isolated programs. Instead, they need to be connected through an integrated development framework in which the potential of forest resources is linked with community capabilities and wider economic opportunities.

In the context of Pesawaran, this integrated approach is particularly important because the objective of development extends beyond providing communities with opportunities to utilize forest resources. The broader objective is to support communities in developing economically viable activities while maintaining the sustainability of the natural resources on which those activities depend. Consequently, IAD can serve as a bridge between Social Forestry policy and community welfare by connecting resource access with capacity development, entrepreneurship, value creation, market integration, and sustainable livelihoods. This social and economic integration forms one of the central foundations of IAD and must subsequently remain consistent with the ecological sustainability of forest landscapes.

3.3 Ecological Sustainability and Landscape Integration

The economic development of forest-dependent communities must remain connected to the ecological sustainability of the landscapes in which these communities live and operate. Although Social Forestry and Integrated Area Development seek to improve community livelihoods, the utilization of forest and land resources should not result in the degradation of ecosystem functions or the loss of biodiversity. This relationship makes ecological sustainability an essential component of IAD rather than a separate environmental consideration. The long-term success of community-based development depends on maintaining the natural resources and ecological functions that support local livelihoods.

The integration of Social Forestry and biodiversity conservation provides an important perspective for understanding this relationship. Gunawan et al. (2022) emphasize the importance of integrating community-based forest management with biodiversity conservation in Indonesia. Social Forestry landscapes are not only spaces for economic activities but also ecosystems that support biodiversity and other ecological functions. Therefore, the development of community livelihoods requires management approaches that recognize the ecological characteristics and conservation value of forest landscapes. This perspective is particularly relevant to IAD because integrated development should connect social and economic objectives with the maintenance of environmental functions.

Agroforestry represents one of the most important points of integration between economic development and ecological sustainability. Castle et al. (2021), through a systematic review of agroforestry interventions, examined its relationships with agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being. This demonstrates the potential of agroforestry to generate multiple benefits simultaneously rather than treating agricultural production and environmental conservation as entirely separate objectives. Within an appropriate management framework, agroforestry can contribute to production and income while also supporting ecosystem services and broader landscape functions.

The relevance of agroforestry within IAD therefore extends beyond its role as a production system. It provides a practical mechanism through which communities can develop productive livelihoods while maintaining connections with ecological sustainability. The integration can be understood through four closely related dimensions: production, income, ecosystem services, and biodiversity conservation. Production and income are important for improving community welfare, whereas ecosystem services and biodiversity contribute to the long-term environmental sustainability of the landscape. The integration of these dimensions is essential because economic benefits that depend on the degradation of the resource base may not provide sustainable outcomes over time.

At the landscape level, IAD can provide a framework for connecting different forms of land and forest utilization within a broader spatial context. Forest-dependent areas may contain productive agroforestry systems, areas with important ecological functions, and locations with biodiversity conservation value. An area-based development approach should therefore consider not only individual enterprises or community groups but also the relationships among different land uses and ecological functions across the landscape. This perspective is consistent with the principle that sustainable development requires the management of interactions between economic activities and environmental systems rather than the separate implementation of economic and conservation programs.

For Pesawaran, ecological sustainability should consequently be considered as a central requirement of Integrated Area Development. The development of productive enterprises and improvements in community welfare should remain compatible with sustainable resource utilization and the maintenance of ecosystem functions. Agroforestry can provide an important entry point for achieving this integration because it connects livelihood activities with environmental benefits within the same landscape. However, the integration of ecological objectives into development planning also requires appropriate management arrangements and coordination among the institutions and stakeholders involved. Therefore, the ecological sustainability of IAD cannot be achieved solely through individual land management practices but also depends on institutional collaboration and coordinated governance, which are discussed in the following section.

3.4Stakeholder integration and collaborative governance

The third major finding concerns institutional and stakeholder integration. The implementation of Integrated Area Development in Pesawaran requires the involvement of multiple actors because the objectives of Social Forestry and area-based development extend beyond the responsibilities and capacities of a single institution. The dissemination of the Integrated Area Development framework in 2024 involved provincial and district government agencies, Social Forestry groups, Universitas Lampung, state-owned enterprises, financial institutions, private companies, and media representatives. The reported development context included 42 Social Forestry groups, 2,531 members, a management area of 4,209.33 ha, and 54 Social Forestry Business Groups within the Pesawaran Forest Management Unit. This institutional landscape demonstrates that the implementation of IAD involves a diverse network of actors operating across policy, forest management, community development, economic activities, financing, and information dissemination.

Within this multi-stakeholder structure, each actor potentially contributes different resources and capacities to the development process. Government institutions have an important role in policy formulation, program coordination, and budget support. The Forest Management Unit (KPH) provides a connection to forest management and technical assistance, while Social Forestry groups and Social Forestry Business Groups are directly involved in resource management, production, and community-based enterprises. Universities can contribute through research, innovation, and capacity building. Private-sector actors may support market development, investment, and off-taker arrangements, whereas

financial institutions can provide access to financing. Civil society organizations may contribute to facilitation and community empowerment, while the media can support promotion and the dissemination of information.

Table 1. Potential roles of stakeholders in Integrated Area Development

Stakeholder	Potential role in IAD
Government	Policy formulation, budget support, program coordination
KPH	Forest management and technical support
Community, KPS, and KUPS	Forest management, production, and enterprise development
University	Research, innovation, and capacity building
Private sector	Market access, investment, and off-taker arrangements
Financial institutions	Financing and financial support
NGOs/CSOs	Facilitation and community empowerment
Media	Promotion and information dissemination

The involvement of these actors is consistent with the collaborative governance perspective, which recognizes that forest and natural resource management involves multiple stakeholders with different interests, capacities, and institutional responsibilities. Roengtam and Agustiyara (2022) emphasize the importance of collaborative governance and coordination among relevant institutions in the implementation of forest land-use policies. The management of complex forest landscapes requires collaboration because no single actor possesses all of the resources, authority, knowledge, and capacities needed to address interconnected social, economic, ecological, and institutional challenges. From this perspective, IAD provides a potential institutional platform for bringing different actors together around shared area-based development objectives.

However, the presence of multiple stakeholders does not automatically produce effective collaboration. An important distinction must be made between stakeholder participation and stakeholder integration. Stakeholder participation refers to the involvement of different actors in a program, activity, or development process. Stakeholder integration, in contrast, requires a stronger relationship in which programs, resources, responsibilities, and expected outputs are connected and coordinated. Consequently, an IAD framework may involve numerous institutions while still producing fragmented implementation if each stakeholder continues to operate through separate programs and institutional priorities.

This distinction is particularly important for understanding collaborative governance within Integrated Area Development. The effectiveness of collaboration should not be evaluated solely by the number or diversity of stakeholders involved. Instead, the central question is whether the contributions of these stakeholders can be integrated toward common development outcomes. Government programs should be connected with community needs, university research should contribute to practical innovation and capacity development, financing should support viable community enterprises, and private-sector involvement should strengthen sustainable market access. In this sense, collaboration becomes meaningful when the resources and activities of different actors complement rather than duplicate or fragment one another.

For Pesawaran, the institutional strength of IAD therefore lies not simply in its ability to attract stakeholder participation but in its potential to establish mechanisms for stakeholder integration. This requires clearly defined roles, effective coordination, shared development priorities, and mechanisms for connecting programs and resources across sectors. The transition from participation to integration represents one of the most important implementation challenges for IAD. A multi-stakeholder structure can provide the foundation for collaborative governance, but coordinated action is required to transform institutional involvement into integrated development outcomes.

Therefore, the stakeholder structure of IAD in Pesawaran should be understood as both an opportunity and an implementation challenge. The diversity of actors provides access to wider knowledge, resources, financing, markets, and institutional support. At the same time, the involvement of multiple actors increases the need for coordination and clarity regarding responsibilities. The ability

of IAD to connect these different contributions will ultimately influence whether the policy operates as a genuinely integrated development framework or remains a collection of parallel stakeholder interventions. This issue is closely related to the broader question of implementation capacity, which determines whether policy integration can be translated into coordinated and sustainable outcomes.

3.5 Implementation Capacity and Strategic Priorities

The final major finding concerns the capacity required to translate the policy framework of Integrated Area Development into coordinated and sustainable outcomes. The existence of an integrated policy framework and the involvement of multiple stakeholders do not automatically guarantee effective implementation. As demonstrated in the previous sections, the success of IAD depends on the ability to connect Social Forestry access, community development, economic activities, ecological sustainability, and institutional collaboration within practical implementation processes. Therefore, implementation capacity represents the critical link between policy integration and actual development outcomes.

Community and institutional capacity constitute the first strategic priority. The implementation of Social Forestry requires more than formal access to forest resources because communities must possess the knowledge, skills, organizational capability, and institutional support needed to manage available resources effectively. Rakatama and Pandit (2020) identified various opportunities and challenges associated with the implementation of Social Forestry in Indonesia, demonstrating that the realization of policy objectives depends on conditions beyond the provision of management rights. Similarly, the evaluation of Social Forestry effectiveness by Ardyanto et al. (2026) highlights the importance of implementation-related factors in determining whether policy objectives can be translated into meaningful outcomes. Within the IAD framework, capacity development should therefore be understood as a continuous process involving technical skills, organizational strengthening, business management, and the ability of community groups to respond to changing economic and environmental conditions.

The development of entrepreneurship represents a second strategic priority. Forest-based economic activities need to progress from primary resource utilization toward more productive and sustainable enterprises. Kusuma et al. (2024) demonstrate the importance of entrepreneurship capital for the performance of Social Forestry entrepreneurship groups. This indicates that community enterprises require supporting capacities and resources to develop viable business activities. For IAD, entrepreneurship should consequently be integrated with business mentoring, product development, value addition, and access to wider economic networks. The objective is not merely to increase the number of community enterprises but to strengthen their capacity to generate sustainable economic benefits.

Market access is closely connected to the development of productive enterprises. Community groups may have the capacity to produce forest-based or agroforestry products but still face limitations when connecting those products with stable markets. Therefore, production development without market integration may limit the long-term economic sustainability of community enterprises. The IAD approach can potentially address this issue by connecting production activities with value chains, private-sector partnerships, off-taker arrangements, product processing, and market development. This reinforces the broader principle that forest-based development should not be limited to increasing production but should also consider how products move through economic systems and generate value for local communities.

Financing represents another critical implementation requirement. Access to capital remains important for supporting productive activities, business expansion, technology adoption, and the development of value-added products. Recent developments in Indonesian Social Forestry policy have emphasized financing innovation as part of efforts to strengthen Social Forestry enterprises. In 2026, the Ministry of Forestry promoted a Blended Finance Model designed to expand access to financing for Social Forestry Business Groups, particularly groups that have not yet become fully bankable. The approach combines different sources of funding while linking financial support with business capacity building and technical assistance. This development demonstrates that financing should not be treated as an isolated source of capital but as part of a broader ecosystem supporting sustainable community enterprises.

Institutional coordination remains equally important because the implementation priorities described above involve multiple actors with different responsibilities. Government agencies may provide policy and program support, universities may contribute research and innovation, financial institutions may facilitate access to capital, and private-sector actors may strengthen market connections. However, these contributions can remain fragmented if they are not coordinated within a shared implementation framework. The central implementation challenge is therefore not simply to increase the number of programs or stakeholders but to ensure that different interventions complement one another. This reinforces the distinction discussed in the previous section between stakeholder participation and stakeholder integration.

Monitoring and evaluation constitute the final strategic component of implementation capacity. An integrated development approach requires mechanisms capable of assessing whether policy objectives are translated into measurable outcomes across social, economic, ecological, and institutional dimensions. Monitoring should therefore extend beyond recording the number of activities implemented or stakeholders involved. A more meaningful approach should assess changes in community capacity, enterprise performance, income opportunities, market access, ecological conditions, and the effectiveness of institutional coordination. Evidence from Wulandari et al. (2026) regarding resource management capacity, economic welfare, and the effectiveness of the IAD program in the Pesawaran Forest Management Unit further demonstrates the importance of examining relationships between development capacity and program outcomes. Outcome-oriented monitoring can consequently provide a stronger basis for identifying implementation gaps and improving future interventions.

Table 2. Strategic priorities for strengthening IAD implementation in Pesawaran

Strategic Priority	Main Focus	Expected Outcome
Capacity development	Community and institutional capability	Improved resource and enterprise management
Entrepreneurship	Business development and value addition	Stronger KUPS performance
Market access	Value chains and partnerships	Sustainable market opportunities
Financing	Diversified and innovative financing	Improved access to capital
Coordination and monitoring	Program integration and outcome evaluation	More effective and integrated implementation

Overall, the implementation capacity of IAD should be understood as the ability to transform policy integration into coordinated action and sustainable outcomes. The policy framework provides the direction, while stakeholders provide different resources and capacities. However, the effectiveness of IAD ultimately depends on whether these elements can be connected through practical mechanisms that support communities in developing economically viable livelihoods while maintaining the sustainability of natural resources. Therefore, strengthening implementation capacity represents the central requirement for ensuring that Integrated Area Development in Pesawaran functions not merely as a planning framework but as an effective approach to sustainable community and natural resource development.

4. Conclusions

This study analyzed Integrated Area Development in Pesawaran Regency as a policy approach for sustainable community and natural resource development. The analysis shows that the principal rationale for IAD is the need to address fragmented development interventions around forest landscapes by integrating programs, actors, and resources within a common spatial and strategic framework. The national framework established through Presidential Regulation No. 28 of 2023 provides the broader policy basis, while Regulation of the Regent of Pesawaran No. 52 of 2024 translates this orientation into a district-level IAD Masterplan.

The Pesawaran IAD framework demonstrates an integrated policy design that connects social empowerment, forest-based economic development, agroforestry, agroindustry, environmental services, ecotourism, biodiversity conservation, institutional collaboration, infrastructure, financing, and knowledge development. Its principal contribution therefore lies not merely in introducing additional development activities, but in providing a policy architecture capable of connecting sustainable livelihoods and natural resource management within a landscape-based development framework.

Nevertheless, the analysis also demonstrates that an integrated policy architecture does not automatically produce integrated outcomes. The effectiveness of IAD depends on implementation capacity, particularly the ability of institutions and communities to coordinate actions, mobilize resources, strengthen enterprises, connect production with markets, and monitor social, economic, ecological, and institutional outcomes in a balanced manner.

Five policy priorities are therefore identified: strengthening cross-sectoral coordination, improving community and enterprise capacity, integrating value-chain and market development, developing balanced multidimensional sustainability indicators, and strengthening integrated financing and monitoring mechanisms. These priorities are important for ensuring that the integrated orientation expressed in policy documents can be translated into sustained implementation outcomes.

Overall, IAD offers a potentially important policy approach for areas where community welfare and natural resource sustainability are closely interconnected. For Pesawaran, its future effectiveness will depend less on the existence of the masterplan itself and more on the quality of coordination, capacity, financing, and monitoring through which its integrated objectives are implemented.

REFERENCES

Ardyanto N, Wulandari C, Bakri S, Febryano IG. (2026). Evaluating the effectiveness of social forestry: A meta-analysis of policy documents and implementation. Jurnal Pemerintahan dan Kebijakan 7(2), 129–141.

Castle SE, Miller DC, Ordonez PJ, Baylis K, Hughes K. (2021). The impacts of agroforestry interventions on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in low- and middle-income countries: A systematic review. Campbell Systematic Reviews 17(2), e1167.

Dinas Kehutanan Provinsi Lampung. (2024). Diseminasi Integrated Area Development Perhutanan Sosial Kabupaten Pesawaran Tahun 2024–2030. L

Government of Indonesia. (2023). Presidential Regulation No. 28 of 2023 on Integrated Planning for Accelerating Social Forestry Management.

Government of Pesawaran Regency. (2024). Regulation of the Regent of Pesawaran No. 52 of 2024 on the Masterplan Integrated Area Development of Pesawaran Regency 2024–2030. K

Gunawan H, Yeny I, Karlina E, Suharti S, Murniati, Subarudi, Mulyanto B, Ekawati S, Garsetiasih R, Pratiwi, Sumirat BK, Sawitri R, Heriyanto NM, Takandjandji M, Widarti A, Surati, Desmiwati, Kalima T, Effendi R, Martin E, Ulya NA, Sylviani, Nurlia A. (2022). Integrating social forestry and biodiversity conservation in Indonesia. Forests 13(12), 2152.

Kementerian Kehutanan. (2026). Kemenhut dorong inovasi pembiayaan perhutanan sosial: BPDLH dan Lemtara luncurkan blended finance model.

Kusuma GA, Suharjito D, Trison S. (2024). Entrepreneurship capital and performance of social forestry entrepreneurship group. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 14(4), 792–800.

Nakayama H, Rustiadi E, Fauzi A. (2024). Does social forestry contribute to farmers' income? A case study of two mountainous villages on Java Island, Indonesia. Journal of Regional and Rural Development Planning 8(1), 1–10.
Rafiuddin A, Rustiadi E, Boer R, Anggraeni L. (2025). Integrated Area Development berbasis Perhutanan Sosial dalam perencanaan pengembangan wilayah rendah karbon pada kawasan hutan Provinsi Kalimantan Tengah. IPB University Repository.
Rakatama A, Pandit R. (2020). Reviewing social forestry schemes in Indonesia: Opportunities and challenges. Forest Policy and Economics 111, 102052.
Roengtam S, Agustiyara. (2022). Collaborative governance for forest land use policy implementation and development. Cogent Social Sciences 8(1), 2073670.
Wulandari C, Budiono P, Kheynad, Haris A, Iwais NA, Vernanda AR, Alfarizi A, Syafira H, Apriliani AP, Sari FY, Iskandar. (2026). Causal analysis of resource management capacity, economic welfare, and the effectiveness of the Integrated Area Development program: A study in the Pesawaran Forest Management Unit, Lampung Province. Jurnal Sylva Lestari 14(1), 111–125.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INVASIVE ALIEN PLANTS IN THE SOUTHERN SALTWORKS OF ATANASOVSKO LAKE, BULGARIAN BLACK SEA COAST

Assoc. Prof. Plamen Glogov
Forest Research Institute - Bulgarian Academy of Sciences
132 "St. Kliment Ohridski" Blvd.
1756 Sofia, BULGARIA

Abstract. The study investigated the occurrence of invasive alien plants in the vegetation surrounding publicly accessible brine and therapeutic mud pools in the Southern Saltworks of Atanasovsko Lake, on the Bulgarian Black Sea Coast. Field surveys were conducted in August 2026 along the accessible perimeter of the pools within a continuous belt up to 2 m wide. A total of 22 vascular plant taxa were recorded, and their cover was assessed using the Braun-Blanquet scale. Two invasive alien species were identified: *Erigeron canadensis* L. and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Eight individuals of *E. canadensis* and five individuals of *A. altissima* were recorded, with four *A. altissima* individuals reaching approximately 1.8-2.0 m in height. Their presence indicates that strongly saline environments do not necessarily prevent the establishment of ecologically plastic invasive plants. Disturbed vegetation and intensive human activity around the saltwork pools may further facilitate their establishment and persistence. The presence and successful establishment and growth of *A. altissima* highlight the need for early removal and periodic monitoring to prevent its further spread in the area.
Keywords: *Ailanthus altissima*; *Erigeron canadensis*; alien plants; biological invasions; halophytic vegetation; salinity; Atanasovsko Lake

Introduction

Halophytic vegetation in Bulgaria has a limited and localized distribution associated with specific saline soils and hydrological conditions. Most of this vegetation is concentrated in the Tundzha Lowland and along the Bulgarian Black Sea coast, where it is primarily associated with large saline lakes and the adjacent salt-affected areas (Tzonev et al., 2008). Halophytic plant communities in Bulgaria are assigned to the classes *Thero-Salicornietea*, *Juncetea maritimi*, *Crypsidetea aculeatae*, and *Festuco-Puccinellietea* (Tzonev & Gussev, 2020).

Atanasovsko Lake is one of the major centres of halophytic vegetation along the southern Bulgarian Black Sea coast. Tzonev et al. (2008) conducted a syntaxonomic study of the halophytic vegetation of southeastern Bulgaria and the southern Black Sea coast, which included phytosociological relevés from Atanasovsko Lake. Communities of characteristic halophytic associations have been documented in the area, including *Salicornietum prostratae*, *Suaedetum maritimae*, and *Juncetum maritimi*. Of particular relevance to the present study are the communities dominated by *Juncus maritimus* in the southern part of the lake, as well as the secondary and semi-ruderal vegetation occurring on the artificially constructed saltwork dykes (Tzonev et al., 2008). Subsequently, Sopotlieva et al. (2020) extended these studies through a targeted survey and mapping of Mediterranean salt meadows (Natura 2000 habitat type 1410) around Atanasovsko Lake. The authors identified the habitat in 19 separate patches covering a total area of 11.06 ha, including sites within the Southern Saltworks, compared with 0.56 ha recorded during previous mapping within the BG0000270 protected area. The vegetation was assigned to the association *Juncetum maritimi* and was characterized by high vegetation cover, often reaching 100%, relatively low species richness, and a clear dominance of *Juncus maritimus*. The authors also noted habitat fragmentation resulting from anthropogenic pressure and emphasized the importance of changes in water level and salinity for its condition.

Atanasovsko Lake is a hypersaline coastal lagoon divided into northern and southern sections, a substantial part of which has been modified and is used for salt production. The lake is included in the

Natura 2000 ecological network as Special Area of Conservation BG0000270 “Atanasovsko Lake” under the Habitats Directive, and the area is also protected under the Birds Directive. Several habitat types relevant to halophytic vegetation occur within the protected area, including 1150* “Coastal lagoons”, 1310 “Salicornia and other annuals colonising mud and sand”, and 1410 “Mediterranean salt meadows (Juncetalia maritimi)” (Kavrakova et al., 2009). Atanasovsko Lake has been subjected to long-term anthropogenic influence, with salt production being among the factors that have altered the structure and hydrological regime of the lake system (Sopotlieva et al., 2020). Part of the lake has been transformed into a system of shallow evaporation ponds, dykes, and channels used for salt production. Tzonev et al. (2008) showed that the artificially constructed dykes provide conditions for the development of secondary and semi-ruderal vegetation that differs from the natural halophytic communities. Anthropogenic influence is also relevant to the spread of alien plants. A specific survey of alien and invasive species at Atanasovsko Lake identified the proximity of the city of Burgas, road infrastructure, the port, the airport, and tourist activity as factors that may facilitate the dispersal and establishment of alien plants in the area (Apostolova, 2016). The Southern Saltworks are located in the southern part of Atanasovsko Lake. In addition to the salt-production facilities, the area contains publicly accessible brine and therapeutic mud pools frequently visited by residents and visitors to Burgas. Vegetation in their immediate surroundings is subject to trampling and localized disturbance of the vegetation cover. The combination of strongly saline conditions and substantial anthropogenic pressure makes the immediate surroundings of the brine and therapeutic mud pools a particularly relevant site for investigating the colonization and establishment of invasive alien plants.

The aim of the present study was to identify invasive alien plant species occurring in the vegetation immediately adjacent to the brine and therapeutic mud pools in the Southern Saltworks of Atanasovsko Lake and to characterize their occurrence within this specific area.

Materials and Methods

The study was conducted in August 2026 in the southern part of Atanasovsko Lake, within the Southern Saltworks, on the premises of Chernomorski Solnitsi AD, Burgas (Fig. 1). The study area encompassed the immediate surroundings of the publicly accessible brine and therapeutic mud pools in the coastal part of the saltworks (42.531953° N, 27.491792° E).



Fig. 1. Section of the study area in the Southern Saltworks of Atanasovsko Lake; *Soda inermis* Fourr. in the foreground (photo: Plamen Glogov).

Vegetation was surveyed along the entire accessible perimeter of the pools within a continuous belt extending up to 2 m from their margins. All vascular plant species encountered were recorded, with particular emphasis on the occurrence of invasive alien plants. Species abundance was visually assessed based on projective cover using the Braun-Blanquet scale (+, 1-5) (Braun-Blanquet, 1932). Where the abundance of a species varied among different sections of the surveyed belt, the observed range of values was reported.

For the invasive alien species recorded, individuals were counted directly; for woody species, their approximate height was also recorded.

The recorded species composition was compared with published data on the halophytic vegetation of Atanasovsko Lake and the Southern Saltworks, primarily with the studies of Tzonev et al. (2008) and Sopotlieva et al. (2020). Available scientific literature was used to assess the ecological characteristics and salinity tolerance of the invasive alien species recorded.

Results and Discussion

The vegetation survey conducted along the entire perimeter of the brine and therapeutic mud pools in the Southern Saltworks, within a belt extending up to 2 m from the pool margins, recorded a total of 22 vascular plant taxa (Table 1). The vegetation was heterogeneous and comprised species characteristic of saline coastal habitats, ruderal and synanthropic plants, as well as several woody and shrubby species.

Table 1. Species composition and projective cover in the study area

№	Taxa	Projective cover
1.	*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle	1
2.	*Artemisia santonicum* L.	1-3
3.	*Atriplex hastata* L.	+-1
4.	*Avena sativa* L.	+
5.	*Bromus arvensis* L.	+-2
6.	*Calamagrostis arenaria* (L.) Roth	+
7.	*Celtis australis* L.	+
8.	*Centaurea solstitialis* L.	+-1
9.	*Cirsium vulgare* (Savi) Ten.	+
10.	*Ecballium elaterium* (L.) A.Rich.	+-1
11.	*Elymus elongatus* (Host) Runemark	1-5
12.	*Erigeron canadensis* L.	+
13.	*Ligustrum vulgare* L.	+
14.	*Melica ciliata* L.	+
15.	*Melilotus albus* Medik.	+-1
16.	*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.	1-3
17.	*Rosa agrestis* Savi	+
18.	*Soda inermis* Fourr.	2-3
19.	*Sonchus asper* (L.) Hill	+-1
20.	*Suaeda maritima* (L.) Dumort.	1-2
21.	*Tragopogon dubius* Scop.	+
22.	*Trifolium fragiferum* L.	+

The total projective cover of shrubs in the study area ranged from 0 to 3%, while the total projective cover of the herbaceous layer ranged from 65% to 80%. Species with higher abundance values on the Braun-Blanquet scale included *Soda inermis* (2-3), *Artemisia santonicum* (1-3), *Suaeda maritima* (1-2), *Phragmites australis* (1-3), *Elymus elongatus* (1-5). The occurrence of *S. inermis*, *A. santonicum*, *S. maritima*, and *P. australis* is consistent with published data on the vegetation of saline habitats in the area. Tzonev et al. (2008) described secondary and semi-ruderal communities on the saltwork dykes dominated by *Artemisia santonicum* and including *Puccinellia convoluta*, *Elymus elongatus*, *Melilotus officinalis*, *Atriplex tatarica*, *Bromus arvensis*, and *Salsola soda* (= *Soda inermis*).

Of particular interest in the present study was the occurrence of two invasive alien species, *Erigeron canadensis* L. and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, in the immediate vicinity of the saltwork pools (Fig. 2).



Fig. 2. Invasive alien species recorded in the study area: (a) *Ailanthus altissima*; (b) *Erigeron canadensis* (photos: Plamen Glogov).

Although their abundance was relatively low, their occurrence in this specific contact zone indicates the ability of some invasive plants to colonize and establish in habitats strongly affected by salinity and anthropogenic disturbance. Of the 10 invasive alien species reported by Apostolova (2016), only two were recorded in the present study in the immediate vicinity of the saltwork pools. Eight individuals of *Erigeron canadensis* were recorded in the surveyed area, with an abundance value of "+" on the Braun-Blanquet scale. The species is not a new element of the halophytic vegetation of southeastern Bulgaria. Tzonev et al. (2008) reported it under the synonymous name *Conyza canadensis* as an accompanying species with low abundance in some of the halophytic communities studied. The ability of *E. canadensis* to establish under saline conditions is supported by experimental evidence. Nandula et al. (2006) investigated the effects of NaCl on seed germination and found that the seeds retained their ability to germinate under elevated salinity; germination was recorded even at 160 mM NaCl, although at a markedly reduced rate. These findings indicate that salinity does not constitute an absolute barrier to the early stages of development of the species. The present field observations are consistent with these findings: the occurrence of eight well-developed individuals in the immediate vicinity of the saltwork pools indicates that the local environmental conditions do not completely prevent the establishment of *E. canadensis*.

Five individuals of *Ailanthus altissima* were recorded in the shrub layer of the surveyed area, four of which reached approximately 1.8-2.0 m in height. The abundance of the species was assessed as 1 on the Braun-Blanquet scale. The size of these plants is noteworthy, as it indicates not merely incidental seed arrival and germination, but successful establishment and subsequent development of the species in the immediate vicinity of the saltwork pools. Experimental evidence confirms the considerable tolerance of *A. altissima* to salt stress. Filippou et al. (2014) investigated the response of young plants to treatments with 150 and 300 mM NaCl. Following short-term exposure to 150 mM NaCl, no visible

phenotypic differences from control plants were observed, whereas at the higher concentration limited chlorotic damage occurred. The authors reported the activation of physiological and biochemical defence mechanisms, including changes in proline and antioxidant metabolism, and related this plasticity to the invasive potential of the species. Thus, the occurrence of relatively well-developed individuals of *A. altissima* in the immediate vicinity of the brine pools is consistent with the experimentally demonstrated tolerance of the species to salt stress. Particularly noteworthy is the fact that four of the five recorded individuals reached nearly 2 m in height. The results indicate that the vegetation in the immediate vicinity of the saltwork pools in the Southern Saltworks is not isolated from colonization by invasive alien plants. A common characteristic of the recorded *E. canadensis* and *A. altissima* is their high ecological plasticity, and experimental evidence of tolerance to salt stress has been reported for both species.

Anthropogenic disturbance is likely to further facilitate their colonization. The surveyed pools are freely accessible and intensively visited, while the surrounding vegetation is subject to trampling and localized disturbance. Tzonev et al. (2008) characterized part of the vegetation on the saltwork dykes as secondary and semi-ruderal. Disturbance of the vegetation cover may create open microsites suitable for colonization by invasive species. The present study does not allow a direct cause-and-effect relationship to be established between salinity and the distribution of the two invasive species. Neither electrical conductivity nor soil salt concentrations were measured. The results should therefore be regarded as field documentation of the successful occurrence and development of *A. altissima* and *E. canadensis* in vegetation immediately adjacent to the saltwork pools, consistent with published experimental evidence of their tolerance to salt stress. From a management perspective, the occurrence of *A. altissima* warrants particular attention. The limited number of individuals suggests that their early removal, followed by continued monitoring of the site, could help prevent the development of a larger population.

Conclusion

Invasive alien plants were poorly represented in the immediate vicinity of the saltwork pools in the Southern Saltworks of Atanasovsko Lake. Nevertheless, the occurrence of *Erigeron canadensis* and *Ailanthus altissima* indicates that even strongly saline conditions do not constitute an absolute barrier to the colonization of ecologically plastic invasive species.

The results suggest that the anthropogenically disturbed margins of the saltwork pools may represent a potential contact zone between halophytic vegetation and invasive plant species. The combination of disturbed vegetation cover, intensive human activity, and tolerance to salt stress may create favourable conditions for their long-term establishment.

The occurrence of *Ailanthus altissima* warrants particular attention, as its successful development indicates potential for further spread in the area. This highlights the need for early removal of the recorded individuals and periodic monitoring of the vegetation surrounding the saltwork pools. The results further suggest that anthropogenically disturbed areas within saline coastal ecosystems should be considered priority sites for the early detection and control of invasive alien plants.

References

Apostolova, I. (2016). *Invazivnite vidove v Atanasovsko ezero* [Invasive species in Atanasovsko Lake]. Report, Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences. Project “The Salt of Life”. (in Bulgarian).

Braun-Blanquet, J. (1932). *Plant Sociology: The Study of Plant Communities*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Filippou, P., Bouchagier, P., Skotti, E., & Fotopoulos, V. (2014). Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 97, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.010

Kavrakova, V., Dimova, D., Dimitrov, M., Tzonev, R., Belev, T., & Rakovska, K. (Eds.). (2009). *Rakovodstvo za opredelyane na mestoobitaniya ot evropeyska znachimost v Bulgaria* [Guide for identification of habitats of European importance in Bulgaria]. 2nd revised and supplemented edition. Sofia: WWF Danube-Carpathian Programme and Green Balkans Federation. ISBN 978-954-9433-08-1. (in Bulgarian).

Nandula, V. K., Eubank, T. W., Poston, D. H., Koger, C. H., & Reddy, K. N. (2006). Factors affecting germination of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, 54, 898-902.

Sopotlieva, D., Apostolova, I., & Uzunov, S. (2020). Additional data on the distribution of Mediterranean salt meadows in Natura 2000 SAC BG0000270 Atanasovsko Lake. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 73(6), 830-837.

Tzonev, R., & Gussev, C. (2020). Halophytic vegetation in Bulgaria. In M.-N. Grigore (Ed.), *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture* (pp. 199-237). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_8-1

Tzonev, R., Lysenko, T., Gussev, C., & Zhelev, P. (2008). The halophytic vegetation in South-East Bulgaria and along the Black Sea coast. *Hacquetia*, 7(2), 95-121. https://doi.org/10.2478/v10028-008-0006-3

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SECURITY ANALYSIS OF IMAGE ENCRYPTION USING LEFT ALMOST ALGEBRAIC STRUCTURES

Fazal E Haq
Nisar Ahmad
[1]*Institute of Numerical Sciences, Kohat University of Science and Technology, Kohat 26000, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan*

ABSTRACT
Left almost structures are algebraic structures in which the left invertive law $(ab)c = (cb)a$ takes the place of associativity. In recent years they have been used to build substitution boxes and colour image ciphers, and the security of these designs has been credited to non-associativity. This thesis tests that claim on the substitution boxes and on the image ciphers. For the substitution boxes built over a left almost group and over the unit group of a left almost ring, we prove that the linear fractional transformation applied at the last step factors, over a field of characteristic two, into an affine map, field inversion and a second affine map. It therefore has the nonlinearity 112, the differential probability 4/256 and the linear probability 16/256 of the inverse map for every admissible choice of its parameters. Both published boxes were reimplemented and agree with the printed tables in all 256 entries; removing the algebraic stage improves all three criteria, and on the nonlinearity taken over all component functions the published boxes lie within the range of randomly generated permutations. A keyed family of boxes with the values of the inverse map is described. For two image ciphers built on these structures, the key material does not depend on the plain image, and an equivalent key is recovered from 256 chosen images for the first cipher and from three for the second; two known plaintext–ciphertext pairs per layer suffice under stated conditions. The transformation taken from the left almost field of order four is proved to be affine. A corrected scheme in which the key material depends on the plain image, with the algebraic stage unchanged, defeats these recoveries. In the schemes examined, the strength comes from conventional components and the weaknesses from the mode of operation, not from non-associativity.
Keywords: Left Almost Structures, Substitution Box, Image Encryption, Chosen-Plaintext Attack, Linear Fractional Transformation

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

UNDERSTANDING CUSTOMER PREFERENCES IN SHOE SOLE DESIGN: A COMPREHENSIVE REVIEW OF MATERIAL, COMFORT, AND MARKET TRENDS

Ketema Alemu
Department of Leather Engineering, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia
Tamrat Tesfaye(professor)
Biorefinery Research Center, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia
Karthikeyan Rajan (Professor)
Department of Leather Engineering, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia
Shalem sharew (PhD)
Fashion Engineering, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia

Abstract
Shoe sole design significantly influences consumer satisfaction, playing a vital role in comfort, durability, aesthetics, and overall functionality. This review explores the key factors driving customer preferences for shoe soles, including cushioning, material performance, wear resistance, and environmental impact. It also highlights the increasing demand for customization, smart technologies, and minimalist footwear. Special emphasis is place on the potential of advanced materials such as graphene and Enset fiber composites to enhance performance and sustainability. The review further discusses demographic and regional variations in consumer preferences, noting differences across age, gender, urban-rural divides, and climatic zones. Despite ongoing innovation by the footwear industry, critical research gaps remain particularly in localized consumer behavior studies, longitudinal analyses of preference changes, and consumer awareness of material technologies. Addressing these gaps through inclusive and forward-thinking research will be essential for designing soles that meet aesthetics, functional and ethical expectations across diverse global markets.
Keywords: *Shoe sole, Customer preference, Comfort, Material, Durability, Sustainability, Footwear industry*

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPUTATIONAL MODELING AND ERROR ASSESSMENT OF METACHRONAL WAVE-DRIVEN VISCOELASTIC FLOW IN A SLIP-POROUS DIVERGENT CHANNEL

Zeeshan Asghar
Department of Mathematics and Sciences, College of Humanities and Sciences, Prince Sultan University, Riyadh 11586, Saudi Arabia.

Abstract. This research investigates the flow characteristics of a non-Newtonian Johnson-Segalman fluid within a porous divergent wavy channel, actuated by the metachronal beating of motile cilia. Both first- and second-order velocity slip conditions are applied at the channel walls, significantly influencing the boundary layer dynamics. The resulting highly nonlinear fourth-order boundary value problem is solved numerically via MATLAB's bvp4c solver, with accuracy ensured through comprehensive residual analysis, tolerance variation tests, and detailed mesh sensitivity studies. The model's robustness is confirmed by recovering several classic fluid models—Newtonian, Maxwell, Oldroyd-B, and the Corotational/Jaumann case—as limiting scenarios. Graphical analyses elucidate the impacts of critical dimensionless parameters on the velocity field, shear stress, pressure gradient, wall friction, and streamline topology. Results indicate that channel divergence, wall waviness, slip effects, and fluid viscoelasticity profoundly alter the transport mechanics. An exact analytical solution for a specific case is also derived and presented for validation.

Keywords: Johnson-Segalman fluid, ciliary flow, slip boundary conditions, divergent wavy channel, porous medium, numerical simulation

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MODELING STRUCTURAL SHIFTS AND FORECASTING THE PHILIPPINE PESO–US DOLLAR EXCHANGE RATE

Roel P. Balayan
Eulogio "Amang" Rodriguez Institute of Science and Technology, Manila, Philippines

ABSTRACT

This study examined the historical behavior, structural shifts, and forecastability of the monthly Philippine peso–US dollar exchange rate from June 1992 to August 2026. It employed a quantitative longitudinal design using 411 monthly closing-rate observations obtained from Investing.com. Descriptive statistics and time-series plots assessed trend, variability, stationarity, and volatility. Unit-root tests evaluated stationarity, while the Bai–Perron procedure identified structural breaks. Random-walk, ARIMA, damped exponential-smoothing, break-adjusted ARIMA, and Markov-switching models were compared through rolling-origin out-of-sample validation using mean absolute error, root mean squared error, mean absolute scaled error, and the Diebold–Mariano test. Results revealed an average exchange rate of ₱45.613, a standard deviation of ₱9.784, and a long-term increase of approximately ₱0.719 per year. The level series was nonstationary, whereas logarithmic returns were stationary and exhibited time-varying volatility. Six structural breaks were identified in September 1997, September 2000, June 2005, August 2008, May 2013, and October 2019, defining seven exchange-rate regimes. ARIMA generated the lowest forecast errors across all evaluated horizons and significantly outperformed the random-walk benchmark at the 24- and 36-month horizons. The selected ARIMA(0,1,0) model with drift projected the rate to increase from ₱62.516 in September 2026 to ₱67.355 in August 2029. The widening prediction intervals nevertheless indicated substantial long-horizon uncertainty. These findings demonstrate the importance of accounting for structural instability, comparative forecast evaluation, and uncertainty when applying exchange-rate projections to policy, financial planning, and risk management.

Keywords: *ARIMA forecasting; Philippine peso; prediction intervals; structural breaks; USD/PHP exchange rate*

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

UNVEILING ADAPTIVE COMPONENTS FOR ENVIRONMENTAL HETEROGENEITY IN *IPOMOEA CARNEA* JACQ

Muhammad Safdar
Syed Mohsan Raza Shah
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan

ABSTRACT

Environmental heterogeneity is an important factor that affects species richness and provides conditions for adaptation of existing species. Factors affecting the diversity gradient are climatic variation, biotic interactions, territory, ambient vigor, productivity, available water resources and some other factors that direct the historical process by the evaluation of climatic history and phylogeny of niche conversation. Naturally adapted populations of *Ipomoea carnea* Jacq. were collected from various ecological regions of Punjab province to investigate their adaptive components that have been developed under heterogeneous environmental conditions. Multivariate redundancy analysis (RDA) and correlation analysis were done to evaluate the association of soil physiochemical features with different morpho-anatomical and physiological characteristics. *I. carnea* is an invasive species that can rapidly grow, spread and adapt from xerophytic to aquatic habitats. This species showed better growth and biomass production near water bodies. Additionally, it also exhibited some specific anatomical modifications such as aerenchyma formation, sclerification, xylem ray thickness, leaf thickness and large metaxylem area that enable it to survive under harsh environmental conditions. Populations from highly saline habitats showed higher value of osmolytes and ionic contents (K^+ and Ca^{2+}). Furthermore, the populations from highly saline areas also exhibited the maximum uptake of Na^+ content and the lowest uptake of K^+ and Ca^{2+} content. In conclusion, *I. carnea* showed very specific modifications in morpho-anatomical and physiological traits that reveal its ecological success from aquatic to xerophytic habitats.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CRUDE OIL PRICE SHOCK AND THE NIGERIAN STOCK MARKET PERFORMANCE IN THE FACE OF COVID-19 PANDEMIC
Evidence from ARDL & Granger Causality Approach.

NA'IM ALIYU
Department of Economics & Development Studies
Federal University Dutsin Ma
Katsina State, Nigeria.
Hussaini Aliyu Jibril
Department of economics
Umaru musa Yaradua University Katsina
Katsina State

Abstract
The study examine the empirical linear relationship between crude oil price shock and the Nigerian stock market performance, with the main objective of ascertaining the impact of recent sharp decline in crude oil prices on stock market performance in the face of global socio-economic challenge posed by COVID-19 pandemic. It used monthly time series data from the central bank of Nigeria (CBN) website (www.cbn.gov.ng) from 2010-2024This period was chosen in order to capture the effects of recent changes in oil price on the performance of the Nigerian stock market within the context of the global economic challenges due to the COVID-19 pandemic. The auto-regressive distributed lag ARDL approach has been applied in the model specification and data analysis for the study. The results of the ARDL in both short and long run revealed that the recent crude oil price shock has a significant impact on stock market performance in Nigeria, with an evidence from the current decline of global crude oil prices from December 2019 to April 2024. The study therefore suggest the need for the Nigerian capital market to continue to pursue with vigor the implementation of the capital market master plan in the hope that a more developed capital market should be in a better position to absorb external shocks such as those arising from crude oil price fluctuations.

INNOVATIVE SUSTAINABLE MATERIALS FOR HIGH-PERFORMANCE THERMAL INSULATION

Mrajji ouahiba
Laboratory of Physic-Chemical of Applied Materials, Sciences Faculty of Ben M'sik, Hassan II University of Casablanca Morocco.
Laboratory REMTEX, HigherSchool of Textile and clothing Industries, Casablanca, Morocco.
Omar Cherkaoui
Laboratory REMTEX, HigherSchool of Textile and clothing Industries, Casablanca, Morocco.

ABSTRACT
This study investigates the potential of innovative insulation materials derived from natural feather fibers as sustainable solutions for improving the energy efficiency of buildings. An integrated experimental and numerical approach was adopted to assess the thermal performance of recycled feather-based nonwoven materials, which exhibited low thermal conductivity values ranging from 0.031 to 0.044 W/m·K. A dynamic building simulation model was developed and validated using a real-scale test cell located in Casablanca, enabling a comprehensive assessment of energy consumption, greenhouse gas (GHG) emissions, and indoor thermal comfort under different insulation configurations.
The results highlight the strong potential of feather-based insulation as an environmentally friendly alternative to conventional insulating materials. The best-performing configurations achieved an energy performance of approximately 30 kWh/year·m², well below the 40 kWh/year·m² threshold established by Moroccan thermal regulations for the Casablanca climate zone. In addition, the proposed insulation solutions led to substantial reductions in GHG emissions, reaching up to **48.58%**, while contributing to improved indoor thermal comfort. These findings demonstrate that recycled natural feather fibers can provide an effective combination of **thermal performance, energy efficiency, and environmental sustainability**, supporting their development as promising materials for next-generation building insulation.

KEYWORDS:
Building sector, Recycledfeather, Insulation materials, Energy savings.

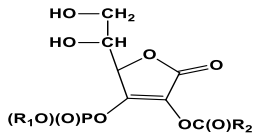
ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DESIGH, RATIONAL SEARCH, SYNTHESIS AND BIOLOGICAL EVALUATION OF 2-*O*-ACYL-3-DIALKYL(ARYL)PHOSPHORYL DERIVATIVES OF ASCORBIC ACID (VITAMIN C)

Dr. Valery V. BELAKHOV
Technion – Israel Institute of Technology, Schulich Faculty of Chemistry (formerly), Haifa, Israel
ORCID ID: 0000-0003-1918-974X

Ascorbic acid (AsA, vitamin C) is a vital nutrient for humans and has many important functions in the body. AsA is essential for collagen synthesis and helps maintain the integrity of substances of mesenchymal origin, such as connective tissue, osteoid tissue, and dentin. AsA has been used in recent years as an active ingredient of cosmetics. Due to its antioxidant properties, it is considered to confer both antioxidant and photoprotection to skin against free radical attack and UV ray damage. The formulation of pure AsA into a final product, however, presents serious difficulties because it is easily oxidized. In last years, in order to overcome the problem of the lack of stability of ascorbic acid in its pure form, various semi-synthetic stable derivatives AsA were prepared.

In this report we presented synthesis and biological evaluation of novel 2-*O*-acyl-3-dialkyl(aryl)phosphoryl derivatives of AsA. The preparation of title compounds was accomplished in four chemical steps. At the first step, at 0°C 5,6-isopropilidenyl derivative of AsA was obtained in almost quantitative yield by the treatment of excess of dry acetone in the presence of $CuSO_4$. Regioselective acylation on position 2 of this compound was carried out by using corresponding acylchlorides in anhydrous pyridine in the presence of catalyst (4-dimethylaminopyridine) at 0°C. Phosphorylation of protected intermediate with dialkyl(aryl)phosphochloridates in anhydrous pyridine at -5°C afforded derivatives of AsA with phosphate group at the position 3. At the last step, deprotection of 5,6-isopropilidenyl-2-*O*-acyl-3-dialkyl(aryl)phosphoryl derivatives of AsA was carried out in mild conditions with acetic acid at 0°C to furnish 2-*O*-acyl-3-dialkyl(aryl)phosphoryl derivatives of AsA with excellent purity and isolated yields.



R_1 = Me, Et, Ph; $R_2 = (CH_2)_nMe$ [n = 6, 14]

In order to evaluate the effect of prepared derivatives of AsA on collagen synthesis, cultured human fibroblasts are placed in 24-well microculture plates in DMEM supplemented with 10% fetal calf serum containing 100 μg/ml □-aminopropionitrile, 10 μCi [2,3-^{3}H] proline, in the presence of either AsA (positive control) or the prepared derivatives of AsA in different concentrations, e.g. from 1mM to 50 mM. The cultures are incubated for 24 hours. The [2,3-^{3}H]-proline incorporation into pepsine-resistant salt precipitated extracellular collagen is determined and used as an index of efficiency of the collagen synthesis. Biological tests indicated that studied derivatives of AsA indicated higher level of activity by stimulation of the collagen synthesis in human fibroblasts in comparison with AsA.

Keywords: Ascorbic Acid, Vitamin C, Semi-synthetic Stable Derivatives, Collagen Synthesis, Antioxidant, Skin Protection, Cosmetics

THE USE OF TETRAENE MACROLIDE ANTIBIOTIC NATAMYCIN IN AGRICULTURE AS HIGHLY EFFECTIVE ECOLOGICALLY SAFE FUNGICIDE FOR PLANT PROTECTION

Dr. Valery V. BELAKHOV
Technion – Israel Institute of Technology, Schulich Faculty of Chemistry (formerly), Haifa, Israel
ORCID ID: 0000-0003-1918-974X

In recent decades, significant attention has been paid to protecting plants against diseases caused by phytopathogenic fungi of diverse etiologies. Biopreparations based on microorganisms and their metabolites, particularly non-medical antibiotics, including antifungal polyene macrolides, have proven to be highly effective, biologically active compounds that offer a viable alternative to synthetic chemical agents. They are characterized by greater specificity compared to chemical agents, low toxicity, and the ability to degrade within natural nutrient cycles, ensuring that the ecological balance of biogenesis remains undisturbed during their use. The diverse chemical nature of non-medical antifungal antibiotics results in a low rate of adaptation among phytopathogenic fungal microorganisms.

Phytopathogenic fungi play a major role in soil-borne plant diseases, as they are able to survive in the most unfavorable conditions and are characterized by a wide range of damage to a wide variety of agricultural crops. Phytopathogenic fungi cause 70% of all plant diseases, and fungal diseases are associated with the most severe epiphytoties (mass plant diseases). Phytopathogenic fungal microorganisms are widely represented in nature and can be spread in different ways: by air currents, water, dust, seeds, tubers, bulbs and other plant organs, as well as plant debris, insects, animals, and vehicles. The routes of penetration of fungal phytopathogens can vary, but they generally penetrate through wounds, structural openings (stomata), or even through the intact surface of the plant, i.e., through the undamaged, natural external surface. Phytopathogenic fungi are characterized by pathogenicity, i.e. the ability to cause plant disease, leading to a decrease in its productivity or death. In view of this, the use of antifungal NMAs to protect plants from diseases caused by phytopathogenic fungi and, consequently, to preserve crop yields is a pressing issue.

The present report systematizes literature data on the use of tetraene macrolide antifungal antibiotic natamycin (pimaricin) as a powerful fungicide with wide spectrum of biological action in agriculture. It is shown that natamycin exhibits high fungicidal activity against fungal phytopathogens belonging to various classes that cause diseases in agricultural crops. It should be noted that the use of natamycin and pesticide compositions based on this tetraene macrolide antibiotic is characterized by pronounced fungicidal activity against fungal diseases of cultivated plants, low toxicity to humans and animals, and the ability to degrade into non-toxic compounds within natural nutrient cycles, thereby ensuring environmental safety during its use.

It should be emphasized that the use of natamycin ensures: 1) highly effective protection of crops against fungal phytopathogens; 2) low cost of this biopesticide; and 3) reliable environmental safety. In this regard, to facilitate the more rational and comprehensive application of natamycin for crop protection in agriculture, it is advisable to conduct further multi-purpose studies on its use as a multifunctional fungicidal agent for protecting a wider range of agricultural crops.

Keywords: Non-Medical Antibiotics, Biopreparations, Natamycin, Fungicides, Phytopathogenic Fungi, Plant Diseases, Crop Protection, Environmental Safety

THE ARBËRESH HERITAGE IN ALBANIA–ITALY RELATIONS: HISTORICAL TIES AND EUROPEAN INTEGRATION

Dr. Denisa Tare
"Aleksandër Moisiu" University of Durrës, Faculty of Political and Legal Sciences, Department of Political Science, Albania
ORCID ID: 0000-0002-1315-7416

ABSTRACT
This paper examines the historical contribution of the Arbëresh to the preservation of Albanian national identity and the development of relations between Albania and Italy, considering the relevance of this shared heritage to Albania's European integration. Following Ottoman expansion in the Balkans, Albanian communities settled in Southern Italy between the fifteenth and eighteenth centuries, where they preserved their language, traditions, and cultural identity. During the nineteenth century, the Arbëresh played an important role in the Albanian National Renaissance, supporting aspirations for national independence and unity. Intellectuals and writers such as Girolamo De Rada, Giuseppe Schirò, Zef Serembe, Anselmo Lorecchio, and Terenc Tocci contributed to Albanian literature, historical consciousness, and national identity. Arbëresh participation in cultural and political movements, together with the involvement of Arbëresh figures in Italian unification, further strengthened historical connections between the two peoples. The proclamation of Albanian independence in 1912 marked a major milestone in the national movement to which the Arbëresh had contributed. Although contacts were restricted during Albania's communist period, relations were renewed after the 1990s, when migration and increased exchanges created new opportunities for cooperation. Today, Albania and Italy continue to develop political, cultural, academic, and social ties. The paper argues that Arbëresh heritage constitutes an important historical and cultural bridge between the two countries and offers a foundation for continued bilateral cooperation and Albania's integration into the European Union.
Keywords: Arbëresh heritage, Albania–Italy relations, national identity, European integration.

1. THE MIGRATION OF ARBËRESH FROM ALBANIA AND SETTLEMENT IN SOUTHERN ITALY

The journey of the Arbëresh people and their centuries-long struggle to preserve their identity is a phenomenon that has attracted the interest of scholars as well as general readers. *When we think of the Arbëresh of Italy, a series of questions arise. When and why did the Arbëresh embark on their journey of migration? What did they experience in the early days and years of their settlement in the Italian regions, and what were the relations between the Italian people and the Arbëresh? How did the Arbëresh manage to preserve their identity even today, despite being denied national rights for centuries*? These and many other issues will be addressed in this paper. The Arbëresh faced difficulties because the Albanians who emigrated did not stay in one place but often moved from one village to another, from one region to another, to find better living conditions and at the same time to avoid assimilation Kamsi, 2007, p. 29). However, despite limited information, it is known today that in Southern Italy, from the regions of Abruzzo to the edges of Calabria and Sicily, there is a large number of Albanians who emigrated when Arbëria fell under Turkish rule. The main migration routes were coastal areas such as the Republic of Venice, the Marche region, Puglia, and Naples. Albanians settled in Italy due to poverty, insecurity, and the desire to live in peace and tranquility. They never went there as conquerors or with the intention of imposing their will. On the contrary, they integrated into their new settlements by taking on modest work (Tirta, 2007, p. 6). Equipped with a strong character, they knew how to preserve their traditions, culture, customs, and rituals. The study of these colonies, although seldom addressed, is important because it brings us a piece of our ancestors' history. Despite being in a foreign land, they not only avoided assimilation but also contributed in every way to defending the Albanian national cause. Max Lambertz, one of the most prominent scholars of the Arbëresh dialects spoken in Italy, found 49 Arbëresh localities in 1915, spread across various regions of Southern Italy and Sicily. These constitute an early historical diaspora, spread over approximately 50 settlements in the regions of Calabria, Puglia, Basilicata, Molise, and Sicily, as well as a "diaspora within a diaspora," which over time has dispersed

and migrated to almost all the urban centers of Southern Italy (Cosenza, Naples, Palermo, Bari, etc.) and in many of the metropolises of Northern Italy (Rome, Milan, Turin, Florence, etc.). Arbëresh communities also settled in other parts of Western Europe, especially in major industrial cities in Germany, France, Switzerland, etc., as well as in America and even Australia (Gjovalin Shkurtaj, 2006). The most enduring colony was established in Venice, where many Albanians found hospitality and, at the same time, a space to express their contributions through ideas and works during the European Renaissance (Altimari, 2012, pp. 129-143). At the same time, a group settled in Mezzojuso and Palazzo Adriano (Altimari, 1986, p. 1). According to data provided by E. Demetrio, there have been seven waves of migration from Albania to Italy: from 1416-1446, 1459-1461, 1468-1506 (after the death of Skanderbeg), 1532-1534, 1647, and 1744, 1759-1825. Similar facts are confirmed by other scholars. According to Eqerem Çabej, it is believed that the migration of Albanians to Italy did not happen all at once but in several different waves from the mid-15th century until 1744 (Demetrio,1982, p. 26). It is thought that the first significant wave of Albanian migration to Italy was military in nature, occurring between 1416-1446. Evidence suggests that three squads of Albanian soldiers, led by Dhimitër Rërësi and his two sons, Vasil and Gjergj, went to assist Alfonso of Aragon, King of Naples. For his services, Dhimitër Rërësi was appointed governor of the province of Reggio Calabria. His followers repopulated several settlements around Catanzaro, such as Andali, Amato, Arietta, Zangorana, Pelagorio, etc. Many of Rërësi's successors settled permanently in Contessa Entellina (1450). Others settled in Taormina, where the neighborhood is still known as the "Albanian Quarter" (Eqerem Çabej, 1987).

The expedition of our national hero in Puglia in 1461-1462 left behind many Albanians who settled in Puglia, Calabria, and Sicily. Another scholar, Petro Scaglione, who provides evidence of the friendly bilateral relations between Italy and Arbëria during the time of the great Skanderbeg, also discusses these friendly and reciprocal relations in his work "The History of the Albanians of Italy." Scaglione testifies to the good relations between Alfonso of Aragon, King of Naples, and Gjergj Kastrioti. According to testimonies, it is said that a friendship was established between the two, often expressed through mutual assistance. It is documented that in times of difficulty, Alfonso of Aragon aided Skanderbeg with military and financial support. Similarly, Gjergj Kastrioti assisted Alfonso of Aragon when he requested help to quell uprisings in Calabria. In return, it is said that Skanderbeg was given many lands, where Albanians later established their villages in the Catanzaro area (Gjovalin Shkurtaj, 2006). The largest wave, as accepted by many scholars, occurred after Skanderbeg's death. Subsequently, there were two other significant migrations, one after the fall of Kruja to the Turks in 1478 and the other after the fall of Koroni in Morea in 1533-1534. This fact is also supported by archival data.

According to a letter sent to De Rada, this fact was documented along with others.

The letter reads:

"*My esteemed Lord, I apologize for the delay in my response... As we know from our Arbëresh parents, they left Kruja when it fell into Turkish hands (AQSH, F.24, D.54/1, p. 5); at that time, Skanderbeg's brothers departed and sailed towards Italy. They remained unsettled for a long time until they requested help from the Pope, who intervened with the King of Naples to find them a place to stay."*

Between 1468-1471, according to documents, there were migrations of Albanians to Molise and Capitanata in Puglia, San Demetrio, Macchia, San Cosmo, several fiefs of San Severino, etc. Another wave of Arbëresh migration to Italy occurred after the fall of Kruja in 1478 and Shkodra in 1479. Mainly, this population settled in Sicily and Calabria. During this time, many regions were established, which are known today by names such as Ungra, Ferma, Firmoza, Qana, Frasnita, Shën Vasili, Shën-Benedikt Ullano, Shën Sofia, Mongrassano, Shën Lorenzo, etc. Tajani writes that the first settlements of Albanians in Italy date back to 1467-1471, evidence that has been confirmed earlier by other scholars and historians. Between 1467-1471, villages like Shën Elena, Croce di Miliano, San Demetrio Corone, Macchia, Vaccarizzo Albanese, San Cosmo Albanese, San Giorgio, and Spezzano Albanese were founded. The samefact is confirmed by C. Costanza in "Cenno storico sugli albanesi d'Italia." According to the data, uninhabited lands such as Foggiano, Martignano, Monteparano, Rocaforcata, San Giorgio, San Martino, San Marzano, Sternatia, Zollino, Chieuti, Casalnuovo, Campomarino, Casalvecchio, San Paolo, Portocannone, Santa Croce di Maliano, Ururi were repopulated Scura, 1865, p. 127). In 1473-1474, villages like Frazzano, Martignano, Monteposano, Rocca Forcata, Taranto, San Martino, Greci,

San Paolo in Capitanata, etc., were established. In 1476-1478, Lungro, Firmo, Acquaformosa, Castroregio, Cavalierizzo, Cerzeto, Civita, Falconara, Frascineto, San Basilio, San Benedetto Ullano, Santa Caterina, San Lorenzo, San Martino, Paltani, Rora Greca were founded (Scaglione,1921, p. 11). Other data show that there were migrations of Albanians to Italy around 1481-1492.

During this period, many colonies were formed in Sicily, such as Palazzo Adriano, Piana dei Greci, Santa Cristina, Gela and Mezzojuso in Palermo, Sant'Angelo in the province of Girgenti, San Michele di Bogaria in the province of Catania (Lorecchio,1902, p 174-175). There were also migrations of Albanians to Italy after the fall of Morea to the Ottomans. A group of about 200 ships crossed in 1543, and people settled in Naples and its surroundings, others in Potenza in Calabria, today Potenza Albanese, and later in San Mitri. These Arbëresh from Morea still remember their journey to Italy, the hardships they endured, and their love for Morea, their homeland, which they had left far behind.

Even today, they have left behind a melancholic song for their beautiful Morea:

"O beautiful Morea How
can I leave you and never return!
There I have my lord father,
There I have my lady mother,
There I have my brother too:
All covered in earth!"

All sources confirm that migration to Italy occurred in different phases and not suddenly. These waves of migration lasted from the 1400s to the 1500s. The beginnings of the strongest migratory waves, as cited by most scholars, date back to 1460-1461, the period when Skanderbeg was in Italy, while the final phase is believed to have been recorded around 1520 (Scaglione, 1921, p. 11). It is believed that the last group to emigrate to Italy was that of 39 Shkodran families with a total of 208 people, led by Anton Remani, who settled in Ancona and its surroundings in 1753 (Kelmendi, 1970, p. 10). According to P. Giannone, we find other data: "Many noble families, to avoid living in slavery, fled from those regions and sought refuge in nearby places and in our kingdom (Naples). Thus came the Tokis and Kastriotis families, who owned good properties in these regions." Munio confirms the same fact: "After Kastrioti's death, Albanian nobles, unable to endure Ottoman tyranny, came to Sicily, and other scions of ancient nobility landed in Trani and Otranto. Some of them settled in Puglia, such as members of the Basta family, while others settled in Genoa and Venice" (Dorsa, 2010, p. 81). Patriotic songs also reflect this. Three verses from a fragment are very telling, reminding us and describing the pain and struggles of the Albanians after Skanderbeg's death, expressed in a powerful writing: "But 300,000 heroes took flight, crossed the sea to keep their pledge intact" (Dorsa, 2010, p. 81).

But what were the reasons for the Albanians' migration to Italy? From which areas of Albania did the majority of Albanians emigrate during this period? Did the Albanians find stability in the places they settled, or were they assimilated into the local population? Where did the Arbëresh settle the most, and what was their stance on preserving their national identity?

According to documents found in the Naples archives by scholars like Francesco Tajani, Lorenzo Giustiniani, and archivist Manfredi Polumbo, it is said that the number of Albanians reached 200,000, scattered across 80 locations.

According to studies and data, it is said that the Arbëresh also settled in many places, some of which disappeared over time. This leads us to understand that the number of Arbëresh may have been greater than what is declared in recent studies. Many of the villages or towns have disappeared, and with them, the Arbëresh population, which was unable to preserve its language, customs, and traditions, but was assimilated into the local population. Alongside the disappeared cities, there are also villages that have changed their names.Studies on the number of the Arbëresh population have been conducted by various scholars over different years. Biondeli, in his 1848 statistics, reports that the number of Albanians who spoke Albanian reached 88,410 (Kamsi, 1937 p. 5) inhabitants. Tajani, in his work "Istorie Albanesi," provides a statistical table divided into three different periods: in 1806, the number of Arbëresh reached 110,955, in 1846 it dropped to 168,802, and in 1886 it reached 196,708. The scholar Biondeli provides statistical data on the three Calabrian provinces of Cosenza, Catanzaro, Reggio Calabria. According to statistics, the Albanian colonies spread across Calabria reached 40 and a population of 42,400.35 (Zangari, 1941, p. 50).Three centuries later, in 1842, scholar Morelli counted about 32,269 inhabitants.

According to the data, in 1881, there were about 85,508 inhabitants, in 1894 about 98,798 inhabitants. In 1901, a census was conducted, according to which the number reached 21,554 inhabitants. In the statistical data, a picture of the 1901 census and alongside it the 1921 census is given. According to the 1901 statistics, the total number of the Arbëresh population at the beginning of the 19th century reached 200,219 inhabitants.

Based on the 1901 data, it turns out that in Southern Italy there are 80 municipalities divided according to the religious rites they practice. Scholar Mahir Domi, in his statistical study "Gli Insediamenti Albanesi nel Mondo," emphasizes that about 136,000 Arbëresh still today in 55 villages speak Albanian, although about 182,000 of them in other villages no longer speak Albanian, having been assimilated with the locals. Eqerem Çabej, in his study "Il mondo degli Arbëresh," states that the Arbëresh living in mountainous areas seem to have preserved the Albanian language better than those who lived in villages. However, it is indisputable that the Arbëresh, after about 500 years in Italy, have not been assimilated and have managed to preserve their culture, traditions, customs, and the Arbëresh language, passed down from generation to generation. In the 1911 census, according to Karla Costanza's study, about 20,467 Arbëresh families settled in various parts of Italy, with about 90,670 inhabitants (Costanza,1980, p. 26). After the 1921 census, the number reached 20,113 families with 80,282 inhabitants. Albert Dauzat, based on C. Merlo's data, says that 1,700,000 Albanians live in Southern Italy. Gustav Meyer, in 1885, wrote that the Albanians in Italy reached 100,000. The "Centro Nazionale di Studi Albanesi" of the University of Palermo says that in 1966 there were about 114,783 Albanian inhabitants. Sources of Albanian history say that in the 19th century there were about 200,000 Albanians. Today in Italy, there are 80 municipalities that trace their origins to the Arbëresh who migrated from Albania at different times. These municipalities are located in Abruzzo, Puglia, ecc Scholars Eqerem Çabej and Mario Bologniari (Professor of Anthropology at the University of Calabria) provide other data on the number of Arbëresh in Italy and their locations, data that, to some extent, coincide but also have differences. Mario Bologlionari emphasizes that today it is thought that there are 50 villages and about 200,000 inhabitants (Bologniari, 1990, p. 25). By carefully examining their geographical position, the period when they were formed, the time when the Albanian population settled in these places, as well as their evolution and current state, we notice that after leaving their homeland, the Albanians emigrated and settled in most of Southern Italy, forming their colonies. These communities have integrated as a result of productive activities, mainly agriculture and crafts. However, the preservation of the Albanian language, women's costumes, traditional folk songs, customs, and beautiful Albanian traditions remain a distinguishing feature everywhere

2. THE ROLE OF THE ARBËRESH IN STRENGTHENING BILATERAL RELATIONS BETWEEN ITALY AND ALBANIA

2.1. The Contribution of the Arbëresh to the Unification of Italy in 1860 and the Strengthening of Bilateral Relations

The Italo-Albanian ties deepened further during the time of Garibaldi, a distinguished figure in Italy, regarded as a national hero. The connections between the two peoples, separated by a sea, were significantly strengthened. What united the two peoples was the shared embrace of the causes of freedom and the independence of the Balkan peoples against Turkey. This aspiration was strongly supported by the great Garibaldi, who fought for the freedom of peoples, not only for the freedom and independence of Italy. "*For Garibaldi, every person who suffered was a brother, every oppressed nation was a homeland."*

The strengthening of the Italo-Albanian relationship came from the fact that they not only shared common ideals such as freedom and independence, but also because a figure like Garibaldi was influencing the rapprochement of peoples who were bathed by the same sea. Garibaldi led the revolution of 1848-1849, a period referred to by Italian historians as "The First War for Independence." He was joined not only by Italian revolutionaries but also by Arbëresh, as well as residents from Albanian territories, who fought together in defense of the cause of freedom. Revolutionary movements took place throughout Italy, but despite the efforts, they did not fully eliminate the reactionary ruling classes. According to Garibaldi, the unification of Italy could only be achieved by mobilizing the entire Italian population in a general uprising. As a political opponent, Garibaldi had Cavour, who led the government of Piedmont, supported by reactionary forces under the guise of liberalism. Cavour pursued an admirable

policy, on the one hand encouraging the expedition of a thousand Garibaldi volunteers and, on the other hand, closely monitoring this movement to ensure that Piedmont benefited from it and not the supporters of Mazzini. (Rich, 2006,.p. 134) Given the difficult political circumstances, Cavour thought that it would be more favorable to unite with Garibaldi and the Garibaldi forces. This agreement between Cavour and Garibaldi helped create a climate of unity among all patriotic forces against Austria. (Bandi,1974, p. 9).

Seeing Garibaldi's successes, Napoleon III, who played the role of a devoted ally, launched a Franco-Italian force against Austria, commanded by him. They triumphantly entered Milan, while Garibaldi, on the other hand, took Brescia, Bergamo, and Salò. Bologna and Romagna sought to join Piedmont, seeing the successes achieved. Nice and Savoy joined France.

This act displeased Garibaldi, who, as a deputy of Nice, saw it as an anti-national move that undermined Italy's unity. Victor Emmanuel II and Cavour did not think the same as Garibaldi. For them, openly opposing France was not a wise political move at the time. From here, a covert political struggle began between Cavour and Garibaldi, who had different views on the war for Italy's unification. Cavour desired Italy's unification under Piedmont but did not want to break the alliance with France. On the other hand, he could not support the idea of Garibaldi's "Thousand" expedition, partly because if they were successful, Garibaldi would be the central figure with his democrats, and Cavour would find himself in his shadow. At this time in Italy, there were various political currents. Most notably, the radicals, monarchists, and Mazzini republicans stood out. The monarchists opposed the establishment of a republican regime in Italy, as they would lose privileges, while the other currents were against this fact. They supported the unification of Sicily under the Savoy monarchy. Southern Italy supported this revolution, which began in Sicily, passed through Naples, and then Calabria. The situation in Southern Italy was dire, economically unstable, and poverty had reached its peak, not to mention the hatred towards the Bourbons. This was one of the reasons why the Albanians of Southern Italy supported the Garibaldian movement. After Central Italy, the south also rose up. On April 4, 1860, under the leadership of Sicilian republicans and Rosalino Pilo, the uprising in Palermo began (V.N. Nevler, 1968, p. 38), which was quickly suppressed, and the leaders were sentenced. The core of the movement consisted of Arbëresh from Sicily and the village of Piana degli Albanesi. Among them were Spiridon Peta, Pietro Piedescalci, Giorgio Piedescalci, Giovanni Carnesi, Francesco Alezi, and others. Alongside them, among the Sicilian republicans, were two of the most distinguished Arbëresh personalities and main supporters of the "Thousand" expedition. One of them was Francesco Crispi. Preparations for the uprising were made in the village of Piana degli Albanesi, which stood out for the help given to the Garibaldian forces. For the Albanians of Piana, there are many appreciations that come from figures like G. C. Aba. He was a participant in the "Thousand" expedition and wrote about the people of Piana: "*They are proud, honest, and proud of their origin*. In their songs, they keep alive the sentiment of four centuries and still dream that one of their blood will one day lead them to the old, distant homeland." Many Albanians helped Garibaldi, serving as guides in the roads he did not know. Garibaldi himself acknowledges this in his memoirs. He writes: "*The population of Piana and Parco helped us a lot as guides and practical people."* Alongside Garibaldi, Dora D'Istria wrote about the role of Piana and other Arbëresh settlements in the Italian Renaissance: "*The small town of Piana, the largest center inhabited by Albanians in Sicily, played an important role in the uprising*." (Dora d'Istria, Albania, no. 11, 1923, pp. 12-13)The Albanians of Lungro also helped Garibaldi and his movement for freedom and independence. The strong ties between the Albanian-Italian sides are demonstrated through the expression of respect and admiration for Garibaldi. In the message "The Sword of Italy," respect and admiration for Garibaldi is quoted, where it was written: "Brave sons of Epirus (Albania), the descendants of Skanderbeg, Marko Bocari, we will engrave on marble the hour, the day when we had the honor to express a testimony of love to the liberator of Sicily and Naples." (Xoxi,1979, p. 208)

Garibaldi's opinion of the Arbëresh is clearly expressed. In a proclamation signed by Anselmo Lorekio, president of "La Società Nazionale Albanese" (The National Albanian Society), the following words are found:

Ai fratelli di Shkjperia ... In many cases, we have shown ourselves to be worthy sons of our homeland, Albania, because on a marked day when we fought for the independence of our second homeland, Italy, a group of our brothers, among whom was Domenico Damisi, informed us of Giuseppe Garibaldi's

opinion that the Albanians are "Heroes who have distinguished themselves in all wars against oppression and tyranny..." (AQSH, F,6, D.3, f.1)

Alongside the Albanians of Piana, the Albanians of Sicily also participated in the Italian Renaissance. The most mentioned in the documents of the time are: the young girl from Piana, Giovanna Peta, who was the first to bring the tricolor flag of united Italy, Francesco Peta, chairman of the secret committee in Piana, Pietro Piedescalci, Antonio Petrota, Giovanni Suli, Giuseppe Benici, Giovanni Carnezi, Nino Stati, Filippo Carini, Salvatore Nocia, and many others like Giovanni Dorsa, Luca Cucia, Stefano Vacaroglia, Nicola Mustacia Antonio Martalanogia, and also from Palazzo Adriano and Mezzojuso. The news of the uprising in Sicily spread rapidly throughout Italy. To continue his project, Garibaldi needed a large military force, which he partially achieved with the support given by the voluntary Italian and Albanian population. The Arbëresh were a strong support for Garibaldi and his military actions in Sicily and Calabria. Garibaldi's revolutionary government in Sicily included Arbëresh participation. Instead of a republic being declared, Southern Italy was united with Piedmont under the Savoy dynasty (Historia e Letërisë Shqipe, 1975, pp. 295-296). But Garibaldi did not stop, and on May 6, 1860, with "The Thousand," he set sail from the Genoese coast, and after five days, landed in Marsala, Sicily. He achieved victory in Calatafimi, triumphantly entered Palermo where he was proclaimed "Dictator of Sicily," achieved victory in Milan, and entered Naples, Castelfidardo, and Volturno. In Palermo, Garibaldi formed his government, including three Albanians, Pasquale Scura, Luigi Giuria, and Francesco Crispi. Although he did not have the support of the Kingdom of Piedmont, Garibaldi continued his expedition towards Sicily, to overthrow the Bourbon government and then triumphantly enter Naples. In August 1860, Garibaldi called for a general mobilization, a call to which many Albanians responded, who were awaiting the arrival of the liberators in the south. The ranks of Garibaldi's army were swelled with Albanian volunteers. From San Benedetto Ullano, 500 out of 2,500 residents of the entire village joined, 500 from Lungro, 130 from Spezzano Albanese, and a significant number of volunteers from Firmoza, Frascineto, Cassano, etc. (Kamsi, Leka, 1937, p. 75).During the liberation movement in Sicily, it is said that old and young Albanian patriots accompanied Garibaldi to Naples. It is said that around 500 Italo-Albanians participated, among whom the hero of Sapri, Battista Falcone, is mentioned, who was educated at the College of San Demetrio Corone. The contribution of the Albanians is also evident in the welcome and support given to Garibaldi and his war by the Albanians of Calabria. Garibaldi's arrival in Calabria was greeted with enthusiasm by the inhabitants of Lungro and Spezzano Albanese. Another noteworthy element, in addition to the participation of Albanian men in the movement for independence, is the participation of young Albanian women such as Pasqualina Toscarelli from San Benedetto Ullano.

She fought alongside other fighters in Naples, in Volturno, and heroically fell in Compiègne. According to Dora d'Istria, Albanian women were the first to break the ice under Garibaldi's encouragement, without fearing the curses of reactionary Catholic priests. This statement by Dora d'Istria clearly expresses the idea that not only men, but also Albanian women, equipped with a strong sense of bravery and the desire for freedom, helped achieve Garibaldi's objectives. The contribution of the Albanians in Southern Italy should not be forgotten either, where the name of an important figure named Agensilao Milano is mentioned. He was known for the assassination attempt he made on the King of Naples, Ferdinand II. His heroic act captivated Italy at the time. This act, carried out by an Albanian, shows the significant role that Albanians had in Italian politics of the time. "The memory of Agensilao Milano remains sacred to the country, which fought heroically for freedom against the oppressor" (Mendella, 1856, Parte 1-2, p. 1). Not only the Albanians of Italy but also residents from current Albanian territories actively participated in this war. The participation of Pashko Vasa and his direct assistance in the war for the liberation of neighboring Italy is evidenced by documentation from this period. In a letter preserved in the Central State Archive, Vasa's participation in Garibaldi's army and in the 1848 battle of Venice is highlighted AQSH, F.132, V.1861, D.11, f.11). Regarding the bilateral Albanian-Italian ties, Dora d'Istria (Elena Gjika) also spoke. In letters sent to De Rada, she connected the triumph of the Garibaldian movement with the Albanian liberation movement. Garibaldi himself, in his proclamations, said that he owed much to the "brave-hearted Albanian heroes." This clearly expresses the respect and appreciation that Garibaldi himself had for the Albanians. The sentiment for the bravery of the Albanians is reinforced by a letter written by Garibaldi to Dora d'Istria, which stated: "Garibaldi is the best judge

for the issue of heroism." He had seen the Albanians in the colonies of Italy, on the battlefield, and wrote: "The issue of the Albanians is mine; I would certainly be happy to use whatever life I have left in favor of that brave people..." (Bandi,1979 p. 3). For the contribution given in the "Thousand" expedition, Garibaldi publicly declared: "The Arbëresh are heroes who have distinguished themselves in all wars against tyranny!" The issue of Garibaldi and that of the Albanian people is the same. For the Arbëresh of Italy, Garibaldi was not an ordinary man, but a great liberator of peoples. The Arbëresh strongly linked their fate with that of Garibaldi, hoping to be freed as soon as possible from the harsh rule of Italian feudal lords and the occupiers of Italy, by helping with their fighting spirit and strong arm. To achieve this sacred day, they promise to give everything, even their lives. The Arbëresh were convinced that the fight for freedom and justice made a man immortal, and Garibaldi was such for them. About 1,300 armed volunteers participated in the Garibaldian ranks from the villages of Cosenza alone. From Cosenza, Garibaldi addressed all civil and military authorities with the words: "Announce that yesterday, with the brave young Calabrians, I forced 10,000 soldiers to lay down their arms." The continuous successes gave Garibaldi the courage to continue towards Naples. During the triumphant entry into Naples, where he was greeted with cheers and revolutionary marches by the people, he had alongside him brave Arbëresh commanders such as Giovanni Pace, Vincenzo Stratico, and others. Naples celebrated, and so did the Arbëresh, singing and shouting: "Long live Garibaldi. Long live free Italy" Gazeta Shqiptare, 2011, p. 19). On this historic day, Garibaldi reorganized his government, with the participation of three Albanians, Pasquale Scura, Luigi Giuria, and Francesco Crispi. Scura was the Minister of Worship and Justice, Giuria the Minister of Public Works, while Crispi was the Minister of the Interior. There are also later records of Crispi, recognizing him as the Prime Minister of Italy during the years 1887-1891 and 1893-1896.

After requesting from King Victor Emmanuel II the removal of Cavour from the government as pro-French, which he did not achieve, Garibaldi headed to liberate Volturno. And precisely in Volturno, on October 1, 1860, one of the greatest battles between the Garibaldians and the Bourbon forces took place, a battle that ended with the triumph of Garibaldi's forces. The Italian state was created in 1861, after many vicissitudes. In 1861, the first parliament of united Italy was convened, proclaiming Italy as a Kingdom and Victor Emmanuel II as its king. Garibaldi's efforts continued until he liberated Venice in 1866 and in 1870 liberated and united Rome with Italy. Rome became the effective capital of Italy in 1871 (Bandi,1979, p. 11).Recognizing the contribution of the Arbëresh of Sicily and Calabria, driven by a sense of sympathy for them, by a special decree on October 2, 1860, he gave the Arbëresh College broad competencies, with the aim of becoming a true educational center. From the correspondence with Dora d'Istria, it is revealed that he viewed the Albanian people's liberation struggle with sympathy, while pledging to use his remaining life for the good of this brave people." For the uprisings of 1866, in which Garibaldi himself was interested, it was written in many press organs of the time. In December 1866, the Italian newspaper "Tempo" and many others spoke of a wave of uprisings that had erupted in Albania. The Sultan feared a general uprising. In the correspondence between Dora d'Istria and De Rada, the sympathy of Garibaldi towards the Albanian people is openly expressed. At the same time, efforts for an insurrectionary movement are noted. The following letter confirms this fact. According to the letter sent to De Rada, dated December 29, 1866, it is emphasized that General Garibaldi has approved the idea of opening an Albanian Academy. On the other hand, in the letter, Dora d'Istria expresses her readiness to help organize a general uprising in Albania" (AQSH, F.24, D.54/1, 1866).The events of 1866-1867, Dora d'Istria saw as important precursors that would lead to the victory and independence of the Albanian nation. In another letter between them, dated November 14, 1866, some of the Albanian leaders addressed a request to the government to allocate certain funds. It was necessary to invest in the old Albanian-Italian friendly ties and the interests that the latter had on the Adriatic shores (AQSH, F.24, D.54/1, 1866, f. 112).This was supported by Garibaldi and Crispi. However, the shortcomings and limitations of the Albanian National Movement affected the progress and scale of establishing close ties between talian democratic circles and military actions on the other side of the Adriatic. Although this movement did not achieve its ultimate goal, the honor and respect of the Albanians for Garibaldi remained intact.

3. ALBANIAN MIGRATION IN THE 1990s AND THE STRENGTHENING OF BILATERAL RELATIONS IN SUPPORT OF ALBANIA'S EU INTEGRATION

After the fall of the communist regime in Albania in the 1990s, the country experienced a massive wave of migration towards Italy. This phenomenon had several key reasons.With the fall of the communist regime, Albania was plunged into a deep economic crisis.

High unemployment, rampant inflation, and widespread poverty were among the main reasons that pushed many Albanians to seek better opportunities abroad

The transition from a totalitarian system to a new democracy was difficult and slow. Political instability, corruption, and lack of security increased feelings of uncertainty and fear among the people, prompting many to leave. During the communist regime, Albanians had experienced severe restrictions on freedoms and opportunities for personal and professional development. With the fall of the regime, many saw migration as an opportunity to achieve their aspirations and pursue a better life.Albanian migration to Italy did not happen only in a single period but included several different phases, each with its own characteristics and challenges. The 1990s marked the beginning of mass migration from Albania to Italy The economic and political crisis, along with the lack of freedom, drove thousands of Albanians to set off towards the Italian shores by boats and other improvised means.Initially, Italy provided humanitarian aid and emergency shelter for Albanian refugees. Many of them were settled in temporary camps and emergency structures, where they received food and medical care. In 1997, Albania experienced a major economic and political crisis due to the collapse of pyramid financial schemes. This led to great unrest and destabilization of the country, causing a new wave of migration towards Italy.

Italy and international organizations, including the UN, intervened to help stabilize Albania and manage the refugee crisis. Migration during this period was more structured, and Italy had previous experience in managing the influx of migrants. Albania began the process of integration into the EU, and the liberalization of visas in 2010 facilitated the travel of Albanians to Italy and other EU countries. This period marked an increase in economic and family migration, with many Albanians seeking job opportunities and family reunification. During the 2000s, many Albanians managed to stabilize and fully integrate into Italian society, contributing to the country's economy and culture. The number of Albanians who gained Italian citizenship increased significantly. In the 2010s and beyond, migration continued to deepen but in a new form. After the liberalization of visas, many young Albanians emigrated for educational and employment reasons. This period was characterized by a more structured and less chaotic movement compared to the 1990s. The children of Albanian immigrants, born or raised in Italy, began to constitute an important part of Italian society. These young people are often well integrated and actively participate in the social, cultural, and economic life of Italy.Albanian migration to Italy has gone through several different phases, each with its own challenges and characteristics. From the difficult beginnings of the 1990s to today's integration and successes, this process has profoundly affected the lives of thousands of Albanians and enriched Italian society. These experiences have created a strong and lasting bond between the two countries, contributing to sustainable development and long-term cooperation.

3.1. THE STABILIZATION OF ALBANIANS IN ITALY AFTER MIGRATION

The stabilization of Albanians in Italy after the massive wave of migration in the 1990s was a long and complex process, with many challenges but also significant achievements. This process involved various phases of integration and progress in the economic, social, and cultural life in Italy. Initially, most Albanian refugees were placed in emergency camps and temporary housing structures created by the Italian government and humanitarian organizations. These camps provided basic shelter, food, and medical care. One of the main challenges was the legalization of the status of Albanian immigrants. Many of them arrived without proper documentation, and efforts to obtain residence permits were numerous and often complicated.

Italy passed several laws and amnesties to legalize the status of many immigrants.12 Many Albanians began working in various sectors of the Italian economy, such as construction, agriculture, services, and light industry. Employment was an important step for their economic and social stabilization. Another

important aspect of integration was the education of Albanian children. Italian schools began to accept and support these children, providing them with quality education and opportunities to integrate into Italian society.Albanians faced challenges regarding cultural and social integration. To overcome these challenges, many of them learned the Italian language and adopted aspects of Italian culture while preserving their national identity. Some Albanians experienced discrimination and stigmatization from a part of Italian society. This required ongoing efforts to build understanding and combat negative stereotypes. Over time, Albanians formed strong and organized communities in various Italian cities. These communities provided mutual support and preserved Albanian culture and traditions.

Many Albanians became active and important members of the Italian economy. They contributed to various sectors of the economy and helped develop the communities where they lived.Some Albanians achieved great success in various fields such as business, art, science, and sports, becoming role models and demonstrating the opportunities that successful integration offers.

After the liberalization of visas in 2010, many young Albanians began traveling for study and employment purposes. This period is characterized by a more structured and less chaotic movement compared to 1999.

The children of Albanian immigrants, born or raised in Italy, began to constitute an important part of Italian society. These young people are often well integrated and actively participate in the social, cultural, and economic life of Italy.

The stabilization of Albanians in Italy after the mass migration of the 1990s was a complex process that required great efforts from both sides. Despite numerous challenges, the dedication and hard work of Albanian immigrants and the support of Italian society made it possible for many of them to build a new life and contribute positively to Italian society. This process has created a strong and lasting bond between the two countries, contributing to sustainable development and long-term cooperation.

3.2. CONTEMPORARY ALBANIAN-ITALIAN RELATIONS IN VARIOUS FIELDS

Economic Cooperation plays an important role: Italy is one of Albania's main economic partners. Most of Albania's exports go to Italy, and a significant portion of imports come from Italy. Italian investments in Albania are visible in various sectors such as construction, agriculture, energy, and light industry.The Italian Agency for Development Cooperation (AICS) has funded numerous development projects in Albania, including infrastructure improvement, rural development, and support for small and medium-sized enterprises. Italy and Albania have a rich history of cultural exchanges. Italian cultural institutions in Albania, such as the Italian Cultural Institutes, regularly organize events that promote Italian art, music, and literature.Many Italian universities have created partnerships with Albanian educational institutions, offering scholarships and exchange opportunities for Albanian students. The Erasmus+ programs are an important example of these academic exchanges.Italy has been a strong supporter of Albania's integration into the European Union. It has used its influence within the EU to lobby in favor of Albania and has encouraged other EU member states to support this process.13 Italy has played an active role in the Berlin Process, an initiative aimed at accelerating the integration of the Western Balkan countries into the EU. Italy has organized several summits and promoted regional cooperation and economic integration. Albania and Italy have worked closely together in the fight against organized crime and drug trafficking. Joint operations and information exchange have been essential for achievements in this field. Italy has provided training and technical assistance to Albanian law enforcement, helping to strengthen their capacities to combat crime and ensure the rule of law. The Albanian-Italian relationship has evolved significantly over the years, encompassing a wide range of collaborations in art, culture, and education. These relationships have been crucial for improving understanding and cooperation between the two peoples. Italian Cultural Institutes in Albania and vice versa have played an important role in organizing cultural events, festivals, and exhibitions that promote the art and culture of both countries.Albanian and Italian artists have collaborated on various artistic projects, including painting, sculpture, music, and theater. These collaborations have created platforms for the exchange of ideas and the growth of cultural understanding. Albanian artists regularly participate in international festivals in Italy, presenting Albanian art and culture to a broader international audience.

Art biennials and music concerts are some of the main activities where Albanians have excelled.
In the field of education, there have also been collaborations between Albania and Italy. The Erasmus+ program and other programs are noteworthy: Italian universities have created strong partnerships with Albanian educational institutions. Programs like Erasmus+ offer excellent opportunities for Albanian students to study in Italy and create strong academic ties between the two countries.
Italian institutions offer scholarships for Albanian students who wish to study in Italy. These scholarships help in the professional development of Albanian students and strengthen academic and cultural ties between the two countries. Joint research projects between universities and scientific institutions in Albania and Italy cover various fields of science, technology, and innovation. These projects have contributed to the development of scientific capacities in both countries.

3.3. ITALY'S ROLE IN ALBANIA'S EUROPEAN INTEGRATION PROCESS

Italy provided political and diplomatic support to Albania. Italy has used its influence within the EU to support the opening of membership negotiations for Albania, lobbying for the approval of necessary reforms in Albania. It has served as a mediator and representative of Albania's interests within the EU, encouraging dialogue and cooperation between Albania and EU member states. On the other hand, Italy supported justice and institutional reforms. Italy has provided technical and financial assistance for justice reforms in Albania, which are crucial for meeting the EU's membership criteria and ensuring the rule of law and transparency. Through EU-funded projects, where Italy is a key partner, the Albanian government has received assistance in preparing the necessary legislation and strengthening institutional capacities for the membership negotiation process. Italy has contributed to improving infrastructure in Albania through projects funded by the EU and AICS, creating a more favorable environment for investment and economic development. Italian institutions have helped promote cultural and educational exchanges, contributing to Albania's social and cultural integration into Europe. The Albanian-Italian relations in the fields of art, culture, and education have evolved significantly over the years, creating a strong foundation for further cooperation and joint development. This collaboration has helped improve relations between the two peoples and contributed to the social, economic, and cultural integration of Albanians in Italy. As Italy continues to play a key role in Albania's European integration process, these relations are expected to be further strengthened in the future.

REFERENCES

AQSH, F,6, D.3, f.1
Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.24, D.54/1, f.5.
Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.132, V.1861, D.11, f.11.
.Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.24, D.54/1, 1866.
Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.24, D.54/1, 1866, f. 112.
Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.24, D.54/1, 1866.
Arkivi Qendror i Shtetit (AQSH), F.24, D.54/1, 1866, f. 112.
Kamsi, K. (2006). *Shqiptarët e Italisë*. Tiranë: Phohemix.
Tirta, M. (2004). Vazhdimësi mërgimi dhe mbijetesë etnike. *Kultura Popullore*, 1, 6.
(1915). Dialektet shqiptare në Itali. *Indogerm. Jahrbuch*, 2, 23.
Shkurtaj, G. (2006). *Ligjërimet arbëreshe: "Gjuha e bukës" dhe "Gjuha e zemrës": (Shqyrtime dialektologjike dhe sociologjike në ngulmimet arbëreshe të Italisë)*. Tiranë: Redona
Altimari, F. (2012). Gli Arbëresh d'Italia per la rinascita dell'Albania tra XVIII-XIX secolo: paralelizmo con altre diaspore di area italo-balcanica. Në *Studia Albanica* (f. 129-143). Tiranë.
Altimari, F. (1986). Profi li storico–letterari. Në Altimari, F., Bolognari, M., & Carrozza, P. (Red.), *L'esilio della parola. La minoranza linguistica albanese in Italia: profi li storico-letterari, antropologici e giuridico–istituzionali* (f. 1). Pisa: Ets Editrice.
Demetrio. (1988). *Arbëria: storia, cultura, folclore*. .Castrovillari: il Coscile
Çabej, E. (1987). *Në botën e arbëreshëve të Italisë: përmbledhje studimesh*. Tiranë: 8 Nëntori.
Shkurtaj, G. (2006). *Ligjërimet arbëreshe: "Gjuha e bukës" dhe "Gjuha e zemrës": (Shqyrtime dialektologjike dhe sociologjike në ngulmimet arbëreshe të Italisë)*. Tiranë: Redona.
Scura, A. (1865). *Origini europee, religioni, viaggi, studi etnografici*. Milano: G. Daelli.
Costanza, C. (1935). *Cenno storico sugli albanesi d'Italia*. Termoli: Adriatika.

Scaglione. (1921). *Historia e Shqiptarëvet t'Italisë*. ., New York
Lorecchio, A. (1902). Noti e documenti: P*ensiero politico albanese in raporto agli interesi italiani,*. Trani: V.Vecchi
Kelmendi. A. (1970). "Arbëreshët e Italisë...". Rilindja
Dorsa, V. (2010). *Shqiptarë dhe misioni i tyre historik*. Tiranë: Botimet Enciklopedike.
Kamsi, K. (2006). *Shqiptarët e Italisë*. Tiranë: Phohemix.
Zangari, D. (1941). *Le colonie italo-albanezi di Calabria, Storia e Demografia sec XV-XIX*. Napoli: Casella
Costanza, C. (1935). *Cenno storico sugli albanesi d'Italia*. Termoli: Adriatika.
Bologniari, M. (1990). *The Albanian Life*, nr. 1, f. 25.
Altimari, F. (1986). *Profi li storico-letterari*. Në F. Altimari, M. Bolognari, & P. Carrozza (Red.), *L'esilio della parola. La minoranza linguistica albanese in Italia: profi li storico-letterari, antropologici e giuridico–istituzionali* (f. 5). Pisa: Ets Editrice.
V.N.Nevler, Xhuzepe Garibaldi, (Rilindja: Prishtinë. 1969), 38
d'Istria, D. (1923). Shqiptarët e Italisë. *Albania*, nr. 11, 12-13.
Kamsi, K. (1937). Shqiptarët e Italisë, kontributi i Italo-Shqiptarëve në Rilindjen Italiane. *Leka*, 75.
Historia e Letërsisë Shqipe (1975). Prishtinë
Gazeta Shqiptare. (2011, 4 dhjetor). f. 19.
Bandi. (1971). *Shqiptarët dhe Garibaldi*
Albanian Immigration to Italy in the 1990's. *DOAJ*. http://dx.doi.org/10.17721/1728-2640.2020.146.12
International Organization for Migration. *Italy and Albania: A Relationship of Mutual Support and Growth*. Marrë nga https://albania.iom.int/news/building-diaspora-bridges-albania
iDiaspora. *Mapping and Profiling of Albanian Diaspora*. Marrë nga https://publications.iom.int/books/mapping-and-profiling-albanian-diaspora
WeBalkans. . *Local Empowerment for Albania's European Integration*. Marrë nga https://webalkans.eu/en/stories/local-empowerment-for-albanias-european-integration/
International Organization for Migration. . *Building Diaspora Bridges in Albania*. Marrë nga https://albania.iom.int/news/building-diaspora-bridges-albania
EEAS. *Support to the EU Integration Process of Albania*. Marrë nga https://impacts.weglobal.org/eu-support-to-the-eu-integration-process-of-albania/

CURRICULUM AS A LEVER FOR DIGITAL GOVERNANCE: TOWARD HUMAN-CENTERED AND TRUSTWORTHY EDUCATIONAL TECHNOLOGY INTEGRATION IN NIGERIAN TERTIARY INSTITUTIONS

Tanimu Adam Ibrahim, PhD
Department of Curriculum and Instruction
Faculty of Education
Northwest University, Kano, Nigeria
Sada Ahmed Jibia, Ph.D.
Faculty of Education, Department of Educational Foundations
Federal University Dutsin-Ma, Katsina – Nigeria

Abstract
This paper examines the role of curriculum design and implementation in strengthening digital governance in Nigerian tertiary institutions, using the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework as a guiding lens. While digital transformation agendas often prioritize infrastructure and policy, this study argues that curriculum remains the critical mechanism through which digital literacy, ethical technology use, and human-centered values are cultivated among learners and educators. Using the recent research into digital curriculum integration across Nigerian universities, the paper examined how curriculum planners can embed principles of innovation, inclusivity, and accountability into course design, ensuring that emerging technologies serve pedagogical and societal needs rather than displacing them. The paper further cross-examines the tension between rapid technological adoption and the need for trustworthy, transparent educational governance structures, particularly in resource-constrained settings. It proposes a curriculum-centered model for digital governance that integrates stakeholder participation, teacher capacity-building, and continuous curriculum review as safeguards against uncritical technology adoption. Findings suggest that curriculum studies scholars and practitioners have a pivotal, underutilized role in shaping how digital governance frameworks are operationalized at the grassroots level of teaching and learning. The paper concludes with policy recommendations for aligning curriculum reform initiatives with national digital governance strategies, emphasizing human-centeredness and institutional trust as foundational principles.
Keywords: curriculum studies, digital governance, TPACK, human-centered education, trustworthy technology integrannntion

EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE ON THE THERMOELECTRIC PROPERTIES OF TIN SULFUR CHALCOGENIDES: A FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION

Yahaya Abubakar Aliero
Department of Physics, Faculty of Physical Sciences, Abdullahi Fodio University of Science and Technology, Aliero, Kebbi State, Nigeria.

ABSTRACT
This work presents a first-principles investigation of the influence of hydrostatic pressure (0–10 GPa) on the thermoelectric properties of tin sulfide (SnS). Density functional theory combined with the semi-classical Boltzmann transport approach was employed to evaluate key transport parameters, including electrical conductivity (σ), electronic thermal conductivity (κ_e), Seebeck coefficient (S), power factor (PF), and figure of merit (ZT). The results reveal that electrical conductivity increases with increasing pressure, indicating enhanced carrier mobility under compression. The Seebeck coefficient exhibits a decreasing trend at higher pressures, suggesting an inverse relationship with carrier concentration. Thermal conductivity shows a pressure-dependent variation, reflecting changes in electronic contributions to heat transport. Relationship between σ and S leads to a significant enhancement in the power factor, particularly within intermediate pressure regimes. Thermoelectric figure of merit (ZT) demonstrates noticeable improvement across the studied pressure range, reaching optimal performance under moderate compression. These findings establish hydrostatic pressure as an effective tuning parameter for optimizing the thermoelectric efficiency of SnS and highlight its potential for application in sustainable energy conversion technologies.
Key Words: Thermoelectric Properties, Hydrostatic Pressure, Tin Sulfur, Chalcogenides, Energy Conversion.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PRINCIPALS' MANAGERIAL RESPONSIBILITIES AND SCHOOL EFFECTIVENESS IN PUBLIC SECONDARY SCHOOLS IN OSUN STATE, NIGERIA

Seth A. Adeniji
Department of Educational Management,
Faculty of Education, University of Ilorin, Nigeria

Abstract
This study examined principals' managerial responsibilities and school effectiveness in public secondary schools in Osun State, Nigeria. Specifically, it investigated the levels of principals' instructional leadership, resource provision and management, decision-making and supervisory responsibilities, and the relationships between these responsibilities and school effectiveness. A correlational survey design was adopted. The study population comprised 3,546 teachers in public secondary schools across Osun Central, Osun West and Osun East, from which 346 teachers were selected through multistage, stratified and proportionate sampling procedures. Data were collected using a researcher-developed Principals' Managerial Responsibilities and School Effectiveness Questionnaire. The reported Cronbach's alpha coefficients were .88 for the managerial-responsibilities section and .77 for the school-effectiveness section. Means and standard deviations were used to summarise responses, while Pearson's product–moment correlation was used to test the hypotheses at the .05 significance level. Instructional leadership received the highest mean rating (M = 3.58), followed by resource provision and management (M = 3.54), supervisory responsibilities (M = 3.31), and decision-making (M = 3.24). The reported overall mean for school effectiveness was 3.43 (SD = 0.52), which falls within the dissertation's explicitly stated high category of 3.00–3.54; accordingly, the overall level is interpreted as high in this article. Principals' overall managerial responsibilities were positively associated with school effectiveness (r = .709, p < .001). Positive, statistically significant associations were also reported for instructional leadership (r = .294), resource management (r = .465), decision-making (r = .468), and supervisory responsibilities (r = .564), all p < .001. The findings indicate that stronger performance of principals' managerial responsibilities is associated with higher reported school effectiveness. Because the design was correlational, the results do not establish causation. The original scoring guide and statistical output should still be checked before submission because the dissertation's stated low-category interval appears to contain a typographical error.
Keywords: principals; managerial responsibilities; school effectiveness; instructional leadership; resource management; public secondary schools; Osun State

Introduction
School effectiveness is a multidimensional concept concerned with the extent to which a school creates conditions that support its educational goals. In secondary schools, effectiveness is reflected not only in academic outcomes but also in student discipline, the quality of the school climate, student engagement and relationships with parents and the wider community. These outcomes depend on interactions among leadership, teaching, resources, school culture and the broader policy environment.

Principals occupy a central position in coordinating these elements. Their managerial responsibilities include setting instructional priorities, supporting curriculum implementation, allocating and maintaining resources, making school-level decisions, and supervising teaching and other school activities. Instructional leadership is particularly relevant because it focuses leadership attention on the school's mission, instructional programmes and learning environment (Hallinger & Murphy, 1985). Research in Nigerian secondary schools has likewise reported positive associations between principals' instructional leadership and teacher effectiveness (Bada et al., 2024), while research in Niger State found that leadership practices and school-effectiveness attributes were rated highly, although leadership practices accounted for a modest proportion of variance in effectiveness (Umar et al., 2021).

Despite the importance of school leadership, the contribution of particular managerial responsibilities may vary across contexts. Schools operate under different resource conditions, staffing levels and community expectations. It is therefore useful to examine how teachers in public secondary schools in

Osun State rate principals' managerial responsibilities and whether those responsibilities are associated with school effectiveness.

The present study draws on the conceptual contribution of instructional leadership and transformational leadership. Instructional leadership highlights the principal's role in defining and communicating educational goals, coordinating instruction and supporting a positive learning climate (Hallinger & Murphy, 1985). Transformational leadership, as initially articulated by Burns (1978), emphasises leadership that engages followers around shared purposes and values. Together, these perspectives provide a useful lens for considering both the instructional and broader organisational dimensions of school management.

Purpose of the Study

The main purpose of the study was to examine principals' managerial responsibilities and school effectiveness in public secondary schools in Osun State, Nigeria. Specifically, the study sought to:

- determine the relative levels of principals' instructional leadership, resource provision and management, decision-making and supervisory responsibilities;
- describe the reported level of school effectiveness in terms of discipline, school climate, student engagement and community engagement; and
- examine the relationships between principals' overall managerial responsibilities and school effectiveness, and between each managerial-responsibility dimension and school effectiveness.

Research Hypotheses

The study tested the following null hypotheses at the .05 level of significance:

2. There is no significant relationship between principals' overall managerial responsibilities and school effectiveness.
3. There is no significant relationship between principals' instructional leadership responsibilities and school effectiveness.
4. There is no significant relationship between principals' resource-management responsibilities and school effectiveness.
5. There is no significant relationship between principals' decision-making responsibilities and school effectiveness.
6. There is no significant relationship between principals' supervisory responsibilities and school effectiveness.

Method

Research Design

A correlational survey design was used to examine the relationships between principals' managerial responsibilities and school effectiveness as reported by teachers. This design is appropriate for describing associations between measured variables; it does not, by itself, demonstrate that one variable causes changes in another.

Population and Sample

The reported population comprised 3,546 teachers in public secondary schools in Osun State: 1,128 in Osun Central, 1,195 in Osun West and 1,223 in Osun East. A sample of 346 teachers was selected using multistage, stratified and proportionate sampling procedures. The reported allocation was 110 teachers from Osun Central, 117 from Osun West and 119 from Osun East.

Instrument and Reliability

Data were gathered with a researcher-developed Principals' Managerial Responsibilities and School Effectiveness Questionnaire (PMRSQ). The dissertation reports that the instrument was reviewed by the research supervisor and relevant experts and was piloted with 20 respondents. Cronbach's alpha coefficients were .88 for the managerial-responsibilities section and .77 for the school-effectiveness section. The final manuscript should identify the pilot respondents' characteristics and confirm that they were not included in the main sample.

Data Collection and Analysis

The dissertation reports that 346 properly completed questionnaires were included in the analysis. Means and standard deviations were used to summarise the questionnaire responses. Pearson's product–moment correlation was used to test the hypotheses at the .05 significance level. The source reports p = .000 for the correlation tests; in APA-style reporting this is expressed as p < .001, because a p-value is not literally zero.

Results

The results below reproduce the key descriptive and correlational statistics reported in the dissertation. Values have been rounded to two or three decimal places for readability; the author should compare the final tables with the original statistical output before submission.

Principals' Managerial Responsibilities

Managerial responsibility	Mean	Rank
Instructional leadership	3.579	1
Resource provision and management	3.537	2
Supervisory responsibilities	3.313	3
Decision-making	3.241	4

Instructional leadership received the highest mean rating (M = 3.579), followed by resource provision and management (M = 3.537). Supervisory responsibilities ranked third (M = 3.313), while decision-making ranked fourth (M = 3.241). These rankings describe the relative ratings reported by respondents; they should not be interpreted as evidence that the lower-ranked responsibilities are unimportant.

Reported Dimensions of School Effectiveness

School-effectiveness dimension	Mean	Standard deviation
School discipline	3.627	0.498
School climate	3.429	0.512
Student engagement	3.370	0.557
Community engagement	3.286	0.521
Overall school effectiveness	3.428	0.522

School discipline had the highest dimension mean (M = 3.627, SD = 0.498), followed by school climate (M = 3.429, SD = 0.512), student engagement (M = 3.370, SD = 0.557), and community engagement (M = 3.286, SD = 0.521). The reported grand mean was 3.428 (SD = 0.522). The dissertation explicitly identifies 3.00–3.54 as the high category; therefore, the overall school-effectiveness mean of 3.428 must be classified as high under the stated benchmark. The conflicting narrative and conclusion in the dissertation that describe the overall level as low have been corrected in this article. The dissertation prints the low interval as 2.25–2.29, leaving a gap before 3.00; this appears to be a typographical error and should be checked against the original scoring guide. That gap does not affect the classification of 3.428 because the mean falls directly within the stated high interval.

Relationships Between Managerial Responsibilities and School Effectiveness

Variable	Pearson's r	Reported significance	Decision at α = .05
Overall managerial responsibilities	.709	p < .001	Reject H_0
Instructional leadership	.294	p < .001	Reject H_0
Resource provision and management	.465	p < .001	Reject H_0
Decision-making	.468	p < .001	Reject H_0
Supervisory responsibilities	.564	p < .001	Reject H_0

The reported correlations were positive and statistically significant. The strongest association was between overall managerial responsibilities and school effectiveness (r = .709), followed by supervisory responsibilities (r = .564), decision-making (r = .468), resource provision and management (r = .465), and instructional leadership (r = .294). These coefficients indicate associations, not causal effects. The table uses the significance values reported in the dissertation, converted from p = .000 to the APA-consistent form p < .001; exact p-values and sample sizes for each test should be confirmed from the original analysis output.

Discussion

The results suggest that respondents rated instructional leadership and resource provision and management as the most prominent of the four managerial-responsibility dimensions. This pattern is consistent with the central place of instructional goal-setting, curriculum coordination and the learning environment in instructional leadership theory (Hallinger & Murphy, 1985). It also aligns broadly with Bada et al. (2024), who reported positive associations between principals' instructional leadership and teacher effectiveness in Nigerian secondary schools. However, the current study's mean rankings should be understood as perceptions measured by the questionnaire, not as an objective audit of principals' performance.

Resource provision and management ranked second. This result highlights the importance of the principal's role in ensuring that available human, material, financial and time resources are allocated and used in support of teaching and learning. Resource provision alone may not ensure effectiveness: allocation, maintenance, equitable access and alignment with instructional priorities are also important. The correlational design used here cannot establish which specific resource-management practices are most consequential.

Supervisory responsibilities ranked third and had a comparatively strong positive association with school effectiveness (r = .564). This finding is consistent with the view that classroom observation, constructive feedback and professional support can help schools maintain instructional focus. The coefficient is an association, however, and cannot establish that supervision alone produced higher effectiveness. Supervisory practices may operate alongside teacher experience, school resources, staff collaboration and other contextual conditions.

Decision-making had the lowest mean rating among the four managerial dimensions, yet its association with school effectiveness was positive and statistically significant (r = .468). This distinction is important: a dimension's lower mean does not imply that it has little relevance to school effectiveness. The finding supports the practical value of strengthening transparent, timely and appropriately participatory decision-making while ensuring that decisions remain consistent with educational goals and policy requirements.

The reported overall association between managerial responsibilities and school effectiveness was r = .709. This is a substantial positive correlation in descriptive terms, suggesting that respondents who rated principals' managerial responsibilities more positively also tended to report greater school effectiveness. Similar research in Niger State found positive relationships between leadership practices and school-effectiveness attributes, although leadership practices accounted for about 14% of variance in effectiveness in that study (Umar et al., 2021). The studies should not be compared as if they used identical measures or designs; rather, they jointly suggest that school leadership is relevant but is not the only influence on school outcomes.

The overall school-effectiveness grand mean was 3.428 (SD = 0.522). Under the dissertation's explicitly stated benchmark, 3.00–3.54 is classified as high; therefore, the overall level of school effectiveness is high according to the reported grand mean. This interpretation agrees with the dissertation's summary table and corrects the conflicting narrative and conclusion that label the level as low. The printed low-category interval (2.25–2.29) appears to be a typographical error and should be verified in the original scoring guide, but it does not alter the classification of the observed grand mean.

Conclusion

The study found that instructional leadership received the highest mean rating among the four managerial-responsibility dimensions, followed by resource provision and management, supervision and decision-making. The overall school-effectiveness grand mean was 3.428 (SD = 0.522), which falls

within the dissertation's stated high category of 3.00–3.54. Accordingly, the overall level of school effectiveness is interpreted as high, not low. Positive, statistically significant relationships were reported between overall managerial responsibilities and school effectiveness and between each of the four managerial dimensions and school effectiveness. These results support the importance of principals' managerial work in public secondary schools in Osun State. However, the cross-sectional correlational design does not establish causal effects.

Recommendations

7. The Osun State Ministry of Education and relevant education agencies should provide continuing professional development for principals in instructional leadership, resource management, supervision and evidence-informed decision-making.
8. Principals should communicate clear instructional goals, monitor curriculum implementation, and use classroom observation and constructive feedback to support teachers' professional growth.
9. School authorities should strengthen transparent planning, allocation, maintenance and monitoring of human, material and financial resources, with resource decisions tied to identified teaching and learning needs.
10. Principals should establish appropriate mechanisms for teacher participation and consultation in school-level decisions, while ensuring that decisions are timely and consistent with regulations.
11. School improvement plans should monitor discipline, school climate, student engagement and community engagement separately, rather than relying only on a single overall effectiveness score.
12. Future research should consider longitudinal or mixed-method designs and include additional contextual factors, such as staffing, facilities and community conditions, to better understand how managerial practices relate to school effectiveness.

Limitations

The study relied on teacher questionnaire responses and a correlational design; therefore, common-method bias, respondent perceptions and unmeasured contextual factors may have influenced the results. The evidence presented here does not establish causal direction. The dissertation's stated low-category interval (2.25–2.29) appears to contain a typographical error and should be verified against the original scoring guide. This does not affect the classification of the observed school-effectiveness grand mean (3.428), which falls within the stated high interval (3.00–3.54). The author should also verify the original dataset, correlation output, sampling details and ethics documentation before submitting the manuscript.

References

Accounting Tools. (2024, March 9). Effectiveness definition. https://www.accountingtools.com/articles/effectiveness

Adams, M., & White, P. (2023). Effective feedback mechanisms and personalized instruction in teaching quality. *Journal of Educational Strategies*, 29(3), 112–129.

Adeseko, S. O., & Omotayo, A. A. (2023). Nexus between principals' instructional responsibilities and secondary school effectiveness. *International Journal of Theory and Application in Elementary and Secondary School Education*, 5(1). https://doi.org/10.31098/ijtaese.v5i1.1186

Adeyeye, B. A. (2024). Principals' managerial practices as predictor of teacher effectiveness in public senior secondary schools in Ogun-East senatorial district, Nigeria. Lagos *Journal of Contemporary Studies in Education*.

Afolakemi, O. O., & Opatunde, A. F. (2023). Decision-making skills and public senior secondary schools principals' administrative effectiveness in Oyo State, Nigeria. *Asian Research Journal of Arts & Social Sciences*, 20(4), 32–44. https://doi.org/10.9734/ARJASS/2023/v20i4455

Ahmed, I., & Qazi, T. F. (2011). Do students' personality traits moderate the relationship between a teacher's leadership style and students' academic performance? Empirical evidence from the institute of higher learning. *International Journal of Academic Research*, 3, 393–400.

Akram, M., Kiran, S., & Ilğan, A. (2017). Development and validation of instructional leadership questionnaire. *International Journal of Organizational Leadership*, 6(2), 73–88. https://doi.org/10.33844/ijol.2017.60435

Arar, K., & Abu Nasra, M. A. (2020). Linking school-based management and school effectiveness: The influence

of self-based management, motivation and effectiveness in the Arab education system in Israel. *Educational Management Administration & Leadership*, 48(1), 186–204. https://doi.org/10.1177/1741143218775428
Argon, T. (2015). Teacher and administrator views on school principals' accountability. Educational Sciences: Theory & Practice, 15(4), 925–944. https://doi.org/10.12738/estp.2015.4.2467
Asuquo, M. E., Ngaji, M. I., & Igwe, S. (2024). Management of educational resources as predictors of secondary school effectiveness in Calabar Education Zone of Cross River State, Nigeria. *Unizik Journal of Educational Management and Policy*, 6(5). [
Atolagbe, A. A., Oparinde, O. R., & Ojo, O. J. (2020). Staff relationship strategies and school effectiveness in public secondary schools: Depicting Kwara State, Nigeria. *African Journal of Inter/Multidisciplinary Studies*, 2(1), 103–113. https://doi.org/10.51415/ajims.v2i1.845
Bada, H. A., Tengku Ariffin, T. F., & Nordin, H. B. (2024). The effectiveness of teachers in Nigerian secondary schools: The role of instructional leadership of principals. *International Journal of Leadership in Education*, 27(1), 44–71. https://doi.org/10.1080/13603124.2020.1811899
Bastalić, A. A., Rafajac, B., & Rončević, N. (2019). School effectiveness from the parents' perspective in Croatia: Construction and validation of the questionnaire. *Sodobna Pedagogika/Journal of Contemporary Educational Studies*, 70(136).
Bello, A. (2016). Effective schools: A review. *Research Journal of Educational Studies and Review*, 2(1), 7–14.
Brimmer, D. (2014, October 17). What is effectiveness? LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/20141017194903-1706228-what-is-effectiveness
Brown, A., & Jones, L. (2024). The role of student engagement in academic success. *Journal of Educational Research*, 38(2), 145–160.
Brown, A., Smith, E., & Garcia, L. (2023). Parent engagement and improved academic outcomes. *School of Community Journal*, 27(4), 101–118.
Burušić, J., Babarović, T., & Velić, M. S. (2016). School effectiveness: An overview of conceptual, methodological and empirical foundations. In N. Alfirević, J. Burušić, J. Pavičić, & R. Relja (Eds.), School effectiveness and educational management: Towards a south-eastern Europe research and public policy agenda (pp. 5–26). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29880-1
Chinelo, O. D. (2011). Parents' involvement in secondary school administration as a correlate of school effectiveness in the South-East Zone of Nigeria. LWATI: *A Journal of Contemporary Research*, 8(4), 16–29.
Dabell, J. (2024). 11 characteristics of effective schools. https://www.johndabell.com
Dahiru, A., Basri, R., Aji, A., & Asimiran, S. (2018). Modelling social system for school effectiveness. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(12), 178–186.
Gordon, S. P. (2023). Supervision, teaching and learning in successful schools: A hall of mirrors. *Journal of Educational Supervision*, 6(3), 1–24. https://doi.org/10.31045/jes.6.3.1
Hardianto, H., Zulkifli, Z., & Hidayat, H. (2021). Analysis of principals' decision-making: A literature study. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 13(3), 2021–2028. https://doi.org/10.35445/alishlah.v13i3.1353
Ibidapo, T. O. (2023). Managerial roles of principal and teacher job performance in Ekiti State secondary schools. *International Journal of Academic Research in Business, Arts and Science*, 5(8), 1–11.
Jones, E., & Smith, K. (2022). Partnerships between schools, parents, and communities. Community and School Journal, 25(2), 65–82.
Kolawole, T. O. (2023). Administrators' managerial roles and teachers' effectiveness in private secondary schools in Ibadan South West Local Government Area of Oyo State. Department of General Studies Education, Federal College of Education, Iwo, Osun State.
Malone, V. D. (2019, June 17). Transformational organizational effectiveness: The X factor for company success. https://slack.com/blog/transformation/organizational-effectiveness-company-for-company-success
Manafa, N. F. (2020). Principals' managerial skills and administrative effectiveness in public secondary schools in Anambra State, Nigeria. *International Journal of Innovative Psychology & Social Development*, 8(4), 44–53. https://www.seahipaj.org
Monehin, M. B. (2025). Principals' instructional practices as a correlate of teaching effectiveness in secondary schools in Niger State, Nigeria.
Mustapha, A. I., Sallee, K. W., & Oluwabukola, A. B. (2023). Principals' managerial styles as determinant of public senior secondary school effectiveness in Kwara State. *Indonesian Journal of Education and Social Sciences*, 2(2), 124–132.
Oguejiofor, C. N. (2023). Principals' administrative practices as predictors of teachers' job performance in secondary schools in Enugu State. *Unizik Journal of Educational Research and Policy Studies*, 15(2). https://unijerps.org
Ogundele, M. O., Sambo, A. M., & Bwoi, G. M. (2015). Principal administrative skills and secondary schools in Plateau State, Nigeria. *Asia Pacific Journal of Education, Arts and Sciences*, 2(1), 1–10.

Okafor, C. J., & Aruoture, R. P. (2022). Influence of resource management on school effectiveness in secondary schools in Edo South Senatorial District. *Rivers State University Journal of Education*, 25(2), 155–169. https://www.rsujoe.com.ng

Okon, J. E., Arop, F. O., Osim, R. O., & Ukpong, N. N. (2020). Principals' management of school material resources and secondary education goal attainment: A case study of secondary school managers in Akwa Ibom State, Nigeria. *The Journal of Social Sciences Research*, 6(9), 856–864.

Oni, L. A., & Odunlami, A. A. (2025). School physical facilities as correlates of teacher effectiveness in public secondary schools in Osun State, Nigeria. *African Journal of Educational Management*, 26(2), 549–565.

Oni, L. A., Salami, M. O., & Oparinde, O. R. (2025). Influence of principal supervision and resource availability on teacher performance in Oyo State secondary schools. *African Journal of Educational Management*, 26(2).

Oparinde, O. R. (2024). Effective planning and staff job performance in public secondary schools in Osun State, Nigeria. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(7), 557–567. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.807048

Owan, V. J., Johnson, A. J., Osim, R. O., Anagbogu, G. E., Otu, B. D., Undie, S. B., Ogabor, J. O., Apie, M. A., & Ekere, S. C. O. (2023). School-based supervisory practices and teachers' job effectiveness using bootstrapping in covariance-based structural equation modelling. Cogent Education, 10(1), Article 2168406. https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2168406

Reynolds, D., & Creemers, B. (2023). School effectiveness: An overview of conceptual, methodological and empirical foundations. SpringerLink.

Senimetu, I. (2022). Manpower planning and students' enrolment in secondary schools for effective management in Osun State. *International Journal of Advanced Research in Multidisciplinary Studies*, 2(1), 104–110.

Siebert, J. U., Kunz, R. E., & Rolf, P. (2021). Effects of decision training on individual's decision-making proactivity. *European Journal of Operational Research*, 2(94), 264–282.

The Research Advisors. (2006). Sample size table. http://research-advisors.com/tools/SampleSize.htm

Tomatala, W., Wenno, I. H., & Laurens, T. (2023). Gaya pengambilan keputusan kepala sekolah dalam meningkatkan efektivitas sekolah pada SMA Negeri di Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat. Edukasia, 4(2).

Torlak, N. G., Demir, A., & Budur, T. (2022). Decision-making leadership and performance links in private education institutes. *Rajagiri Management Journal*, 16(1), 63–85.

Umar, O. S., Kenayathulla, H. B., & Hoque, K. E. (2021). Principal leadership practices and school effectiveness in Niger State, Nigeria. *South African Journal of Education*, 41(3), 1–12. https://doi.org/10.15700/saje.v41n3a1859

UNESCO. (2025). Recommendation on education for peace, human rights and sustainable development. 42nd Session of the General Conference. https://www.unesco.org

Wikipedia. (n.d.). Wikipedia dictionary. https://en.wikipedia.org

Yusuf, S., et al. (2025). Principals' managerial competencies, public senior secondary schools, challenges, prospects. *Journal of Theoretical and Empirical Studies in Education*, 10(1).

Zamir, N. A. (2020). A review of school effectiveness theory for school improvement. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 10(3), 113–123.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PREDICTING THE HYDROGEN STORAGE PERFORMANCE AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BEXH$_3$ (X = PD, AG, CD) PEROVSKITE HYDRIDES: AN AB-INITIO APPROACH

Hamza BENAALI
Laboratory of Advanced Materials and Applications, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, B.P.1796 Fez-Atlas, Morocco.
Hmad FATIHI
[2]Laboratory of Research in Physics and Engineering Sciences, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal 23000, Morocco.
Abdellah TAHIRI
Laboratory of Advanced Materials and Applications, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, B.P.1796 Fez-Atlas, Morocco.
Mohamed NAJI
Laboratory of Advanced Materials and Applications, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, B.P.1796 Fez-Atlas, Morocco.
Laboratory of Inorganic Materials for Sustainable Energy Technologies (LIMSET), Mohammed VI Polytechnic University, Ben Guerir, Morocco.

Abstract: Novel perovskite hydride materials have emerged as promising candidates for hydrogen storage applications. In this study, density functional theory (DFT) was used to investigate the effects of substituting transition metals (X = Pd, Ag, and Cd) in BeXH$_3$ perovskite materials on their physicochemical properties and hydrogen storage performance. Thermodynamic stability was confirmed by negative formation energies (-0.872, -0.492, and -0.456 eV/atom for BePdH$_3$, BeAgH$_3$, and BeCdH$_3$, respectively), indicating the potential for experimental synthesis. Mechanical stability assessments revealed that BeAgH$_3$ and BeCdH$_3$ satisfy Born's stability criteria, whereas BePdH$_3$ exhibited mechanical instability. Electronic structure analyses, including the band structure and density of states, indicated metallic behavior for the studied compounds. Additionally, thermodynamic characteristics, such as entropy, Debye temperature, specific heat capacity at constant volume, and thermal expansion coefficients, were evaluated using the quasi-harmonic Debye model over a temperature range of 0–1000 K and pressure range of 0–20 GPa. The Debye temperature determines a gradual decrease with increasing temperature, while the heat capacity approaches the Dulong-Petit limit at high temperatures, consistent with stable solid behavior. The ab initio molecular dynamic results indicate that BePdH$_3$, BeAgH$_3$, and BeCdH$_3$ exhibit significant kinetic stability at 300 K. Furthermore, phonon dispersion calculations confirmed the dynamical stability of BeAgH$_3$, while BePdH$_3$ and BeCdH$_3$ exhibited imaginary frequencies. Hydrogen storage capabilities were further assessed, revealing reasonable gravimetric hydrogen capacities (2.49, 2.46, and 2.37 wt% for BePdH$_3$, BeAgH$_3$, and BeCdH$_3$, respectively), volumetric hydrogen storage capacities (126.06, 107.59, and 90.74 g H2/L for BePdH$_3$, BeAgH$_3$, and BeCdH$_3$, respectively), and moderate hydrogen desorption temperatures (643.92, 363.03, and 336.68 K for BePdH$_3$, BeAgH$_3$, and BeCdH$_3$, respectively).
Keywords: Hydrogen storage; Hydride perovskites; Desorption temperature; Thermodynamic properties.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EMERGING ROLES OF CHRONO-NUTRITION: EARLY SMALL NIGHT MEALS?

Akbar Nikkhah
Chief Highly Distinguished Professor and Scientist, University of Zanjan, Iran

Abstract
Circadian or almost 24-h rhythms govern nutrient metabolism and partitioning in mammals. Circadian rhythms are orchestrated by internal clocks (located in hypothalamus, liver, and possibly other organs) and external cues such as light-dark phases as well as chrono-nutrion. Chrono-nutrition involves eating frequency and eating timing. An increasing attention is being paid to signifying chrono-nutrition and eating timing for easier body weight management, reduced obesity and related metabolic issues, improved cardiovascular health, and enhanced life quality. The objective of this study was to underscore the significance of chrono-nutrition, and in particular eating timing, on human lifestyle, health, and well-being in the modern and post-modern era. Findings from animal and ruminant models have revealed that timing of eating affects and regulates nutrient metabolism and partitioning. These emerging insights suggest that chrono-eating matters and determines the fate of substrates in the human body. The resulting developments in our understanding of human chronophysiology lead us to favor morning and early-day eating and to avoid night eating of large meals. Complementary long-term data are required before one can conclusively recommend particular eating strategies or circadian times of eating and fasting.
Key words: Eating timing, Chronophysiology, Human health, Metabolic disease, Circadian rhythm.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

OPTIMIZING STARCH NUTRITION FOR ENVIRO-ECONOMIC SUSTAINABILITY: A GLOBAL RESPONSIBILITY

Akbar Nikkhah
Chief Highly Distinguished Professor and Scientist, University of Zanjan, Iran

Abstract
Energy is the costliest property of dairy diets worldwide. Starch is also the major energy constituent of modern global dairy diets (approximately 20-35% of dietary dry matter and up to 50-70% of dietary energy). Hence, optimizing starch nutrition offers ample opportunities to improve dairy productivity and profitability. Modern dairy enterprises have been struggling toward enhanced economy owing to suboptimal starch nutrition. Inappropriate dietary starch inclusion rates and cereal grain processing extents, only to increase raw milk yield, has dramatically increased production disorders such as subacute rumen acidosis, liver and kidney complexities, mastitis, and fresh cow metabolic syndrome. Inflammation and acute phase proteins can reduce immune function and threaten dairy cow health and well-being. As a consequence, long-term milk production and economic life of dairy herds may significantly diminish, leading to increased costs of dairy production systems. In a recent large economic assessment study (2021) using production and health data from 17 large dairy herds with a total of 146464 observations, we demonstrated significant effects of different production diseases on milk production depression. Incidence of ketosis, displaced abomasum, laminitis, mastitis, metritis, retained placenta, and dystocia during 5-60 days in milk resulted in 253, 682, 39, 38, 110, 215, and 55 kg of milk yield depressions. Milk yield depressions due to laminitis and mastitis over the 180 days in milk were, respectively, 207 and 404 kg. Since the milk yield depression constitutes about 20-35% of total costs of production and metabolic disorders, the total economic losses would be about 3-5 times the above values. These findings and field observations strongly indicate that commercial dairy production management strategies require obliged reexamination and refinement. Overfeeding of starch and concentrates must cease. Future complementary economic and reproductive studies are needed to enable formulating definitive local and global strategies to optimize modern dairy production, and thereby, to improve dairy economy.
Key words: Starch, Nutrition, Dairy production, Milk yield depression, Economic assessment, Mechanistic modeling, Sustainability.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

OVERVIEW AND EPIDEMIOLOGY OF NON-TUBERCULOUS MYCOBACTERIA ISOLATED FROM WILD ANIMALS IN AFRICA

BELLIL Dassine
GHAROUT-SAIT Alima
DJOUDI Ferhat
BELLIL Zahra
MENDIL Ouidad
MANSEUR Lyticia
Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire d'Ecologie Microbienne, 06000 Bejaia, Algérie.
DIB-SAIT Sabrina
Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire de Biochimie Biophysique Biomathématique et Scientométrie, 06000 Bejaia, Algérie.

Abstract
INTRODUCTION: Non-tuberculous mycobacteria (NTM) represent a group of significant pathogens with a global distribution in wildlife. Their presence at the interface between livestock and wild animals is of particular concern, as wildlife species can act as reservoirs, facilitating transmission to domestic cattle and potentially humans. These dynamic underscores the importance of monitoring NTM as a key One Health issue.
OBJECTIVE: This study aimed to conduct a comprehensive assessment of the reported prevalence and temporal trends of NTM in wildlife across African countries over a 15-year period from 2010 to 2025.
METHODOLOGY: We performed a systematic review of the scientific literature on NTM epidemiology in African wildlife. Data were retrieved from electronic databases, including PubMed, ScienceDirect, and African Journals Online (AJOL), and subsequently compiled and analyzed.
RESULTS: The systematic review identified a validated dataset comprising 57 distinct occurrence reports of NTM across a range of wild animal species in Africa. From a total of 3,384 animal observations, 706 confirmed NTM cases were identified, yielding an aggregate prevalence of 20.8% across the studied wildlife populations during the 2010-2025 period.
CONCLUSION: Our analysis confirms the environmental endemicity of NTM and establishes that wildlife populations in Africa constitute a significant reservoir. Furthermore, multivariable statistical analyses demonstrated a significant association between NTM detection and clinical disease in animals, reinforcing the veterinary and ecological importance of these pathogens.
Keywords: *Mycobacterium* non-tuberculosis, wild animals, review, Africa.

CULTIVATING ECO-CONSCIOUSNESS IN EARLY CHILDHOOD: AN EDUCATIONAL PSYCHOLOGY FRAMEWORK FOR INTEGRATING ISLAMIC ENVIRONMENTAL VALUES AND LOCAL WISDOM INTO EARLY CHILDHOOD CARE AND EDUCATION

Baffa Bashari Ibrahim
Jigawa State College of Education and Legal Studies, Ringim School of General Education
Department of Psychology ad Counseling
Halima Umar Muhammad
School of General Education Department of Curriculum and Innovation
Jigawa State College of Education and Legal Studies Ringim,
Auwalu Abdullahi
Department of Early Child Care Education
Jigawa State College of Education and Legal Studies Ringim

The increasing frequency of environmental degradation and climate-related challenges has created an urgent need to develop environmentally responsible attitudes from the earliest years of life. Early childhood represents a particularly important developmental period for establishing attitudes, values, habits and behavioural patterns that may persist into later life. This conceptual paper examines how Islamic environmental values and locally embedded ecological knowledge can be integrated into Early Childhood Care and Education (ECCE) through an educational psychology perspective. Drawing on social learning theory, ecological systems theory, constructivist learning principles and environmental psychology, the paper proposes that children's environmental consciousness is influenced by interactions among family, teachers, peers, religious institutions, community practices and the physical environment. Islamic teachings provide important foundations for environmental responsibility through principles such as khalifah (human stewardship), moderation (wasatiyyah), avoidance of waste (israf), conservation of natural resources, and responsibility towards other forms of creation. These principles can be connected with locally relevant environmental practices and transformed into developmentally appropriate learning experiences for young children. The paper proposes an Islamic Eco-ECCE Framework consisting of five interconnected components: religious environmental values, local ecological wisdom, modelling by adults, experiential learning, and child-centred environmental practices. The paper argues that integrating religion, local knowledge and educational psychology into ECCE can contribute to children's environmental awareness, pro-environmental behaviour, social responsibility and early climate resilience. The paper concludes with implications for ECCE teacher education, curriculum development, families and community-based environmental education.

Keywords: Educational Psychology, Early Childhood Care and Education, Islamic Environmental Education, Local Wisdom, Environmental Psychology, Climate Change, Eco-Consciousness.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INVESTIGATING THE USAGE OF TABLET COMPUTERS IN THE TEACHING AND LEARNING OF ENGLISH LANGUAGE IN NIGERIAN SECONDARY SCHOOLS

Aderinsola E. Kayode (PhD),
Trinity University, Yaba Lagos, Nigeria, Department of Computer & Information Sciences.
Suleman Yakubu
University of Hull, Faculty of Education, United Kingdom
Dr. Ayobola O. Charles
Trinity University, Yaba Lagos, Nigeria. Faculty of Arts, Management and Social Sciences, Department of Economics

ABSTRACT
The usage of tablet computers that has penetrated the field of education in recent time, is found to be confronted with some challenges despite their potential benefits particularly in Nigeria. This study was conducted to examine the perception of teachers regarding the usage of tablet computers in the teaching and learning of English Language at Lead School, Ibadan, Nigeria. Qualitative research was employed to analyse data collected on their perception of teachers regarding the usage of tablet computers and student learning outcome in English Language at Lead School, Ibadan, Nigeria. Four teachers were interviewed individually, and data were gathered from those interviews and examined. This resulted in the identification of four key areas of insight: instructors' perceptions of tablet use, amount of tablet utilisation, benefits of tablet usage and challenges of tablet usage. Some suggestions were offered to facilitate the integration of tablet computers in secondary schools based on the study's findings.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DEVELOPMENT AND PERFOMANCE EVALUATION OF AN IOT-BASED SMART LIQUEFIED PETROLEUM GAS LEVEL AND LEAKAGE DETECTION SYSTEM FOR SHIPBOARD APPLICATIONS

Oladoyin A.E
Olaleye O. O
Taiwo Ogunsola
Prince-Victor B
Ikueyemi Daniel
Department of Marine Engineering,Maritime Academy of Nigeria
Adeyi A.A
Eyibo N.
Odey Anebi
Department of Electrical/Electronics, Maritime Academy of Nigeria

Abstract
Marine vessels are exposed to environmental and operational hazards, including harmful gas release, pollution, adverse weather, and accidents. Conventional monitoring methods may depend heavily on manual observation and may not provide timely warning. This project focuses on the construction of a Liquefied petroleum gas (LPG) -based monitoring and leakage detection system for marine operations. The proposed prototype uses an ESP32 development board as the main controller, an MQ-6 butane/propane gas sensor for gas detection, a passive buzzer for audible warning, a breadboard, and male-to-male, male-to-female and female-to-female jumper wires for circuit interconnection. The ESP32 receives sensor data, processes the readings using programmed decision logic and AI-oriented data analysis, and activates an alert when a hazardous gas condition is detected.
Keywords: Liquified petroleum gas, ESP32 board, MQ6 sensor, passive buzzer

1. Introduction

Shipping industries account for one of the biggest sectors that support international trade, transportation as well as economic development globally (Norman, 2025). Marine operations such as shipping vessels, offshore oil drilling, commercial fishing, and port activities support moving products and services worldwide. During their operations, they are exposed to environmental hazards such as gas explosion, oil spills, water contamination, harsh weather, ship accidents, etc.

However, marine monitoring has been majorly done manually through visual checks and analogue monitoring systems. These systems tend to be slower, costly and are unable to deliver real-time coverage over large ocean areas. With increasing maritime operations ongoing, more efficient systems are required to provide early detection of potential hazards and warning (Shobowale et al 2025). Atul et al (2024) *affirmed that gas leaks caused severe problem to human beings and that there is dire need to solve this problem. Muhammad (2020) revealed that the number of death due to gas explosion have been on the increase nowadays.*

In the quest to prevent LPG leakages and accident associated with it, Atul used MQ2 to detect gases levels such as smoke, propane, methane carbon monoxide with the aid of ESP8266. In another study, Sundar (2024) designed an IoT system that monitor LPG using Aduino, load cell, MQ2 and GPS. Ranjith et al (2023) defined liquefied petroleum gas as a mixture of butane and propane without odour. Bhavithra et al(2021) employed PIC 16F877A, micro controller, GSM SIM 800C module, MQ6 and ESP8266 to detect LPG gas for house hold LPG cylinders. Muthul

et al(2024) designed an LPG monitoring system using SEN-10245, MQ6 sensor and Arduino R3. Further researchers also designed LPG monitoring systems for residential and for commercial purposes. Folorunso et al(2019) developed LPG gas level for residential and commercial premises by employing MQ6 sensor and aduino mega. This system gives alert at 50%, 20% and 0%. In order to reduce the cost of production of LPG monitoring system available for Nigerians, Uwuigb and Omoze (2026) designed an LPG monitoring system by employing MQ6, subscriber identity module 800L,global system and 32-bit ESP 32 microcontroller. The limitations encountered in their study are ;2G-only gsm dependency,30-minute sms suppression interval, absence of traceable quantitative sensor calibration, and unquantified power consumptions. It was stated that the subsequent design can make the system not to give false alarm, and incorporate IoT remote monitoring capability using ESP32built in wifi.
Thus, from the review it can be deduced that there is lack of literature on LPG monitoring device for onboard ship application that incorporate ESP 32 built in wifi.

2. Materials and Methods

3.1 Materials

The materials selected for the AI-based monitoring system includes an ESP32 development board, MQ-6 butane gas sensor module, passive buzzer module, jumper-wire sets and a breadboard.

Table 1: Shows the Bills of Engineering Management and Evaluation.

S/N	Component	Quantity	Cost
1.	ESP32 Development Board, 36 pins, USB Type-C, Wi-Fi + Bluetooth	1	₦ 13,953.49
2.	MQ-6 Butane/Propane Gas Sensor Module	1	₦ 3,255.81
3.	Passive Buzzer Module	1	₦ 833.21
4.	Female-to-Female Jumper Wires	1 set	₦ 1,395.35
5.	Male-to-Female Jumper Wires	1 set	₦ 1,581.40
6.	Male-to-Male Jumper Wires	1 set	₦ 1,767.44
7.	Breadboard MB102	1	₦ 2,046.51

3.2 Description of Components of the System

3.2.1 ESP32 Development Board

The ESP32 serves as the main controller. It reads the gas-sensor signal, executes the programmed detection logic and controls the buzzer. Its Wi-Fi and Bluetooth capability also provides a basis for future remote monitoring .

3.2.2 MQ-6 Gas Sensor Module

The MQ-6 module is the primary sensing device in the prototype. It is intended for combustible gases such as butane and propane. Its output is used as an indicator of gas presence and concentration level.

3.2.3 Passive Buzzer Module

The passive buzzer is used as the local warning device. When the ESP32 determines that the detected gas condition has reached the programmed alarm condition, the buzzer is driven to produce an audible warning.

3.2.4 **Breadboard and Jumper Wires**

The breadboard allows the components to be assembled without permanent soldering. The jumper wires provide the required connections between the sensor, ESP32 and buzzer.
Figure 3.1 Shows the block diagram of the AI-based monitoring system.

Figure 3.1: Block diagram of the LPG monitoring system.

3.3 **Methods**

3.3.1 **Circuit Connection**

The MQ-6 module is connected to the ESP32 through its appropriate supply, ground and signal connections. The buzzer module is connected to a suitable ESP32 output pin and ground. The exact GPIO assignment was recorded from the final assembled circuit and program. Since ESP32 GPIO inputs are designed for low-voltage logic, the sensor output was checked before connection.

3.3.2 **Construction Procedure**

1. The MB102 breadboard was placed on a stable work surface.
2. The ESP32 development board and MQ-6 module were mounted so that their pins were accessible.
3. The sensor power and ground were connected according to the final circuit design.
4. The sensor signal was connected to the selected ESP32 input.
5. The passive buzzer was connected to the selected ESP32 output.
6. The appropriate jumper wires were used to complete the circuit.
7. The monitoring program was uploaded to the ESP32 through USB.
8. The sensor readings were observed and the alarm function was verified under controlled conditions. Figure 3.2 shows the constructed LPG system.

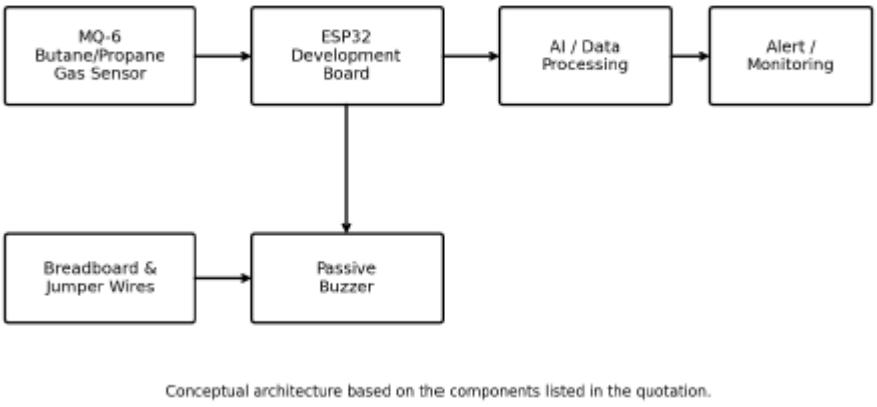


Figure 3.2 Constructed LPG Monitoring System

3.3.5 **Testing Procedure**

Testing was performed in a controlled, well-ventilated ship environment and away from ignition sources. The sensor was first observed under normal air conditions to establish a baseline. Controlled gas exposure was then applied according to safe laboratory procedures. The baseline reading, exposed reading, time taken for detection, alarm response, and recovery after the gas source was removed were recorded.

1. Results and Discussion

4.2 **AI-Model Performance Evaluation**

The developed system was evaluated to determine its ability to monitor the environment, detect the target gas and provide an early warning through the alarm. The ESP32 received the sensor signal and processed the readings according to the programmed detection conditions. When the gas level reached the programmed hazard condition, the buzzer was activated. The evaluation considered detection accuracy, detection time and consistency of response.

Table 1, Shows the result of the AI-Based monitoring performance

4.3 **Results Presentation Format**

Table 1: Result presentation format

TRIAL	NORMAL GAS	GAS EXPOSURE	DETECTION TIME (S)	RESULT
	1052.55	3276	1.47	Successful
	1023.75	3276	2.10	Successful
	1064.7	3276	1.58	Successful

Table 1 unveiled the maximum threshold at which the system gives alarm. That is at a threshold of 3276 instead of 4950ppm.

2. Conclusion

The project demonstrates a practical approach to integrating gas sensing, embedded processing and warning technology for marine operations. The selected components provide a low-cost platform for demonstrating real-time hazard monitoring. The system can form a foundation for future development into a more comprehensive marine environmental monitoring platform. For further study on this, a display or cloud dashboard for remote monitoring can be integrated and also sensors for temperature, humidity, and smoke can be integrated.

References

Atul, P., Ketan B., Om, M., Komal B. and Komal G.(2024). Gas level detection and automated gas booking system. International Journal of Advanced rserach in science communication and technology 4(3), 218-224

Bhavithra S. Sushmitha B.,Venkatesan T.,Gowri S. (2021).Intelligent LPG gas leak detection and automatic gas booking alert system using Pic microcontroller. International Journal of engineering Science Technology, 5 (3).

Folorunso C.O., Raheem W.A. Akinyemi, L.A. and Raji A.A.(2019). Development of a liquified petroleum gas leakage detector level indicator and automatic shutdown system. Convenant Journal of Engineering, 3(2), 14-30.

Mohammad, M.K. (2020). Sensor-based gas leakage detector system. Engineering Proceedings 2(1), 28.

Muthul, V. Haswin R.D., Dlilip K., Gokul K., Avinash R. (2024). LPG gas leakage detector with auto-off system and real time gas level monitoring system using software application. TIJER-International research Journal, 11 (7) 593-599.
Norman O.W. (2025). Trend analysis of the shipping industry contribution to the development of the Nigerian Economy. International Journal of multidisplinary research,6(1)28-31.
Ranjith, K. R., Namachivayam M., Deviprakash M., Pradeep V., Selvakumar K., Sharunithi G.,(2023). LPG gas level monitoring and leakage detection system. International conference on self sustainable artificial intelligence systems, Erode, India, 1463-1468.
Shobowale, Y.I., Lawal A.R., Olasehinde, O.O., Sobowale O.O. and Oluwaranti A.I. (2025). Development of an IoT-based smart gas leakage detection with alert system. Lautech Journal of engineering and technology, 19(1) 154-163.
Sundar, G. (2024). Automatically detect the LPG gas level and to prevent the gas leakage and accident using embedded system. International Journal for research in applied Science and Engineering Technology, 12(8) 416-419.
Uwuigbe, E. O. and Omoze, L.E. (2026). Design and construction of liquified petroleum gas(LPG) leakage detection system. NIPES-Journal of Energy Tecnology and Environment, 8(2), 117-128.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DESALINATION, RENEWABLE ENERGY, AND PUBLIC REGULATION: BUILDING A SUSTAINABLE LEGAL FRAMEWORK FOR WATER SECURITY

Ngueya ESSALLAMI
Energy and Materials Team - Innovative Technologies Laboratory - ENSA,
Abdelmalek Essaâdi University, Tangier, Morocco
Ahmed KHOUYA
Energy and Materials Team - Innovative Technologies Laboratory - ENSA,
Abdelmalek Essaâdi University, Tangier, Morocco
M'barka EL MOUEDDEN
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterial's, Water and Environment,
Mohammed V University, Faculty of Science, Agdal, Rabat, Morocco
Mohamed DAOUDI
Department of Law and Political Studies, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Territorial governance has become a key dimension of sustainable and inclusive regional development, particularly in regions facing structural constraints alongside significant economic and natural-resource potential. This study examines the challenges and opportunities associated with territorial governance in the Laâyoune-Sakia El Hamra region of Morocco, with particular attention to the capacity of public policies and regional governance mechanisms to address territorial specificities and support sustainable development. The research adopts an integrated analytical approach combining a review of territorial public policies, regional development strategies, and relevant socioeconomic and environmental indicators. It focuses on key development dimensions, including water security, renewable energy potential, infrastructure, investment, and the sustainable management of natural resources. The analysis highlights the strategic importance of strengthening coordination among territorial actors and improving the integration of water, energy, and environmental considerations into regional planning. In particular, the region's substantial renewable energy potential and the growing role of seawater desalination offer opportunities to address water scarcity while supporting economic activities and long-term territorial resilience. However, translating these assets into sustainable regional development requires coherent public policies, effective multi-level governance, and stronger alignment between investment priorities and local development needs. This study contributes to the debate on territorial governance by proposing an integrated perspective in which the water-energy nexus is considered a strategic component of regional development. The case of Laâyoune-Sakia El Hamra provides insights into how resource-constrained regions can leverage their renewable energy potential and strategic infrastructure to strengthen territorial resilience and advance sustainable regional development.

Keywords: Territorial Governance; Regional Development; Public Policies; Renewable Energy; Water Security; Desalination.

BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND UNIVERSAL HUMAN VALUES: THE FUTURE OF HUMANITY IN THE AGE OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION

Roxana Moisoiu

Abstract

The rapid development of Artificial Intelligence is transforming the foundations of contemporary society, reshaping human relationships, economic structures, political decision-making and legal institutions. While AI offers unprecedented opportunities for innovation, efficiency and global development, it also raises fundamental questions concerning human dignity, freedom, equality, justice and moral responsibility. The central challenge is no longer simply how far technology can advance, but whether technological progress can remain aligned with the universal values that define humanity.

human values, examining the ethical, legal and social implications of integrating intelligent technologies into human life. Particular attention is given to the risks associated with algorithmic discrimination, the concentration of technological power, the erosion of individual autonomy, the manipulation of information and the unequal distribution of the benefits generated by technological innovation. At the same time, the research considers the potential of AI to support education, healthcare, scientific progress, poverty reduction and the protection of fundamental human rights.

The methodology combines doctrinal and comparative analysis of relevant legal norms, an examination of international regulatory frameworks and an interdisciplinary approach integrating legal, ethical, philosophical and social perspectives. The research investigates whether existing legal and institutional mechanisms are sufficiently developed to ensure that AI systems operate in accordance with fundamental human rights and shared ethical principles.

The central hypothesis is that Artificial Intelligence cannot be regarded as an autonomous instrument of human progress unless its development and implementation are guided by universal human values. Technological intelligence may expand humanity's capacity to analyse, predict and create, but it cannot independently establish the moral principles that should govern collective life. Consequently, human responsibility, democratic accountability, legal protection and international cooperation must remain essential elements of AI governance.

The paper proposes an analytical framework built around five interconnected dimensions: human dignity, freedom and autonomy, equality and social justice, accountability and responsibility, and international solidarity. These dimensions provide a basis for assessing whether technological innovation contributes to human development or creates new forms of vulnerability and inequality.

Ultimately, the future of humanity should not be determined exclusively by what Artificial Intelligence can achieve, but by the values and principles that guide its use. The real measure of technological progress is not the intelligence of the machines we create, but the extent to which they contribute to a more just, inclusive and humane world.

Keywords: Artificial Intelligence, universal human values, human dignity, ethics, fundamental rights, technological responsibility, equality, social justice, digital governance, future of humanity.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPARATIVE ANALYSIS OF GREEN PORT CONCEPT IMPLEMENTATION IN THE SEAPORTS OF KLAIPĖDA, RIGA AND TALLINN

Diana Šateikienė
Klaipėdos valstybinė kolegija, Lithuania
ORCID: 0009-0006-5638-6290

ABSTRACT

Baltic Sea ports are increasingly implementing measures aimed at reducing the environmental impact of port activities in response to European climate policy objectives and stricter environmental requirements. The aim of this study is to compare the implementation of the Green Port concept in the seaports of Klaipėda, Riga and Tallinn by identifying the main measures applied and the principal directions of their implementation. The study applies content analysis and comparative analysis of information published on the official websites of the three port authorities, including environmental information, sustainability reports, strategic objectives and project descriptions. Four comparison criteria are used: decarbonisation objectives, development of onshore power supply infrastructure, deployment of renewable and alternative energy solutions, and environmental management measures. The findings show different but complementary green-transition priorities. The Port of Klaipėda is implementing a Green Port Development Plan, has introduced the Port Environmental Review System (PERS), is expanding onshore power supply infrastructure and in 2026 opened a green hydrogen production and refuelling facility. The Freeport of Riga applies ISO 14001-based environmental management and is developing renewable-energy and clean-technology projects, including a large solar park, a wind-technology production complex and activities within the BalticSeaH2 hydrogen project. The Port of Tallinn has set a long-term climate-neutrality target for 2050, purchases renewable electricity for its own use, operates onshore power supply for passenger ferries and monitors greenhouse-gas emissions. The comparative analysis indicates that green-port implementation in all three cases is based on an integrated transformation of energy use, infrastructure, technologies and environmental management. However, the selected measures and their implementation maturity differ according to port-specific strategic priorities and infrastructure development pathways.

Keywords: *green port, sustainable port development, decarbonisation, onshore power supply, alternative fuels, Baltic States*

INTRODUCTION

The transition of maritime transport towards lower greenhouse-gas emissions has consequences for both vessels and port infrastructure. European Union legislation addresses the supply of alternative fuels infrastructure and the use of energy by ships during port calls. Regulation (EU) 2023/1804 sets shore-side electricity supply targets for qualifying maritime ports, while Regulation (EU) 2023/1805 establishes requirements concerning the greenhouse-gas intensity of energy used on board ships and, under specified conditions, the use of onshore power supply (European Parliament & Council of the European Union, 2023a, 2023b).

In particular, Article 9 of Regulation (EU) 2023/1804 requires relevant TEN-T maritime ports meeting defined traffic thresholds to provide shore-side electricity for specified shares of qualifying container-ship and passenger-ship calls by 31 December 2029. These requirements concern particular categories of ports and vessels; they must not be interpreted as an unconditional requirement for every ship or every berth. Under Article 6 of Regulation (EU) 2023/1805, applicable vessels are required to use onshore power from 2030 in the circumstances specified by that regulation (European Parliament & Council of the European Union, 2023a, 2023b).

Port authorities are responding through combinations of infrastructure investment, cleaner energy, alternative-fuel initiatives and environmental management. Nevertheless, the term “green port” covers different types of intervention: an operating facility, a certified management system, an approved investment project and a long-term commitment are not equivalent types of evidence. A comparative review therefore needs to identify both the measure and its documented implementation status.

The aim of this study is to compare the implementation of the Green Port concept in the seaports of Klaipėda, Riga and Tallinn. The analysis follows four criteria stated in the conference abstract: (1) decarbonisation objectives; (2) onshore power supply (OPS) infrastructure; (3) renewable and alternative energy solutions; and (4) environmental management measures. The study focuses on documented actions and intentions rather than on estimating emission reductions that the available port-authority sources do not demonstrate on a comparable basis.

Scientific perspectives on green ports and sustainability performance

The scientific literature treats port sustainability as a multidimensional issue extending beyond individual environmental investments. Lim et al. (2019), in a systematic literature review, examine port sustainability performance, its measurement and the implementation of strategies and policies. Their review emphasises the role of appropriate performance indicators in assessing whether sustainability initiatives translate into identifiable outcomes. This distinction is central to the present comparison: documentary evidence of an investment or a strategic commitment cannot, by itself, establish the scale of environmental improvement.

The environmental-management dimension has been explored in greater operational detail by Puig et al. (2014), who developed and assessed environmental performance indicators for sustainable port development. Their framework distinguishes operational, managerial and environmental-condition indicators, including, respectively, waste and noise, compliance and certification, and the condition of water and air. Accordingly, an environmental-management certificate provides evidence of an institutionalised management process, whereas direct measurements are required to establish changes in environmental conditions. Styliadis et al. (2022) likewise synthesise research on port externalities and the indicators used to assess economic, social and environmental impacts. These studies demonstrate why the present analysis should not equate management arrangements with measured emission reductions.

Energy transition represents another major research stream. Alzahrani et al. (2021) review seaport decarbonisation and identify renewable-energy integration, smart-energy management, regulatory frameworks and interconnected energy systems as significant themes. Zhang et al. (2024) synthesise approaches involving alternative energy sources, low-carbon fuels, technological measures and operational optimisation. Both publications indicate that port decarbonisation encompasses multiple technologies whose feasibility and effects depend on specific operational and energy-system conditions. Consequently, the deployment of shore-side electricity, hydrogen infrastructure or renewable-generation projects must be interpreted in relation to their current implementation status and actual use, rather than their announced capacity alone.

More recently, Fei et al. (2025) systematically reviewed methods, evaluation subjects and indicators used in green-port assessments. The study highlights the diversity of approaches available for evaluating green ports. Together with the work of Lim et al. (2019) and Puig et al. (2014), this supports a criterion-based, transparent comparison, while also cautioning against assigning an overall sustainability ranking when harmonised performance data are unavailable.

Research problem and contribution

These studies offer established conceptual approaches to sustainability measurement, energy transition and environmental assessment. They do not, on their own, establish the current implementation status of particular projects at Klaipėda, Riga and Tallinn. Conversely, the three port authorities' publications document their own measures and priorities but are not a substitute for a theoretically grounded comparison. The research problem addressed here is therefore how to compare heterogeneous, publicly reported green-port interventions in three Baltic seaports without conflating commitments, operational infrastructure, governance instruments and measured environmental results. The contribution of this paper is a source-traceable qualitative synthesis organised around four common criteria. It is not a new emissions inventory, an impact evaluation or a comprehensive review of all scholarly literature on Baltic ports.

RESEARCH AND FINDINGS

Research approach and comparison criteria

The research design is a qualitative, document-based content analysis combined with a structured comparison of three port authorities. The materials examined are public documents and project descriptions issued by the Klaipėda State Seaport Authority, the Freeport of Riga Authority and AS

Tallinna Sadam (Port of Tallinn), together with the relevant EU regulations. Official information available by 4 November 2026 forms the documentary basis for the comparison. Figure 1 summarises the analytical sequence.

For each criterion, the documents were reviewed for explicit references to targets, technical projects, existing infrastructure, management frameworks and reported implementation progress. Findings were classified descriptively as operating or implemented, under development or construction, and planned or targeted. A project announcement is treated as evidence of an initiative, not as proof of an operational plant or achieved environmental outcome. This approach maintains the distinction between institutional commitments, outputs and measured effects.

A methodological limitation is that the three port authorities publish information at different levels of detail and with differing organisational boundaries. Accordingly, the present comparison does not calculate a common decarbonisation index or rank the ports by overall environmental performance. It identifies substantiated approaches and project stages, as supported by official documents.

The choice of comparison criteria is informed by the scientific literature as well as the research objective. Decarbonisation objectives reflect the policy and performance dimensions identified by Lim et al. (2019) and the energy-transition pathways reviewed by Alzahrani et al. (2021). Onshore power supply and renewable or alternative energy solutions are examined as specific technological pathways discussed in the decarbonisation literature (Alzahrani et al., 2021; Zhang et al., 2024). Environmental management addresses organisational arrangements and monitoring, consistent with the separation of management and environmental-condition indicators in Puig et al. (2014). The literature on green-port evaluation further supports examining multiple criteria rather than relying on a single initiative (Fei et al., 2025).

To maintain analytical consistency, the comparison records the nature of each item (objective, ongoing project, operational facility, management instrument or measured indicator) and its documentary status. An explicitly announced target is coded as an objective; a planned investment is described as planned; and an operational facility is identified as such only where official sources confirm commissioning. The analysis does not infer realised avoided emissions or comparative environmental effectiveness from nominal project capacity. This is a descriptive classification framework, not an independently validated quantitative scoring model.

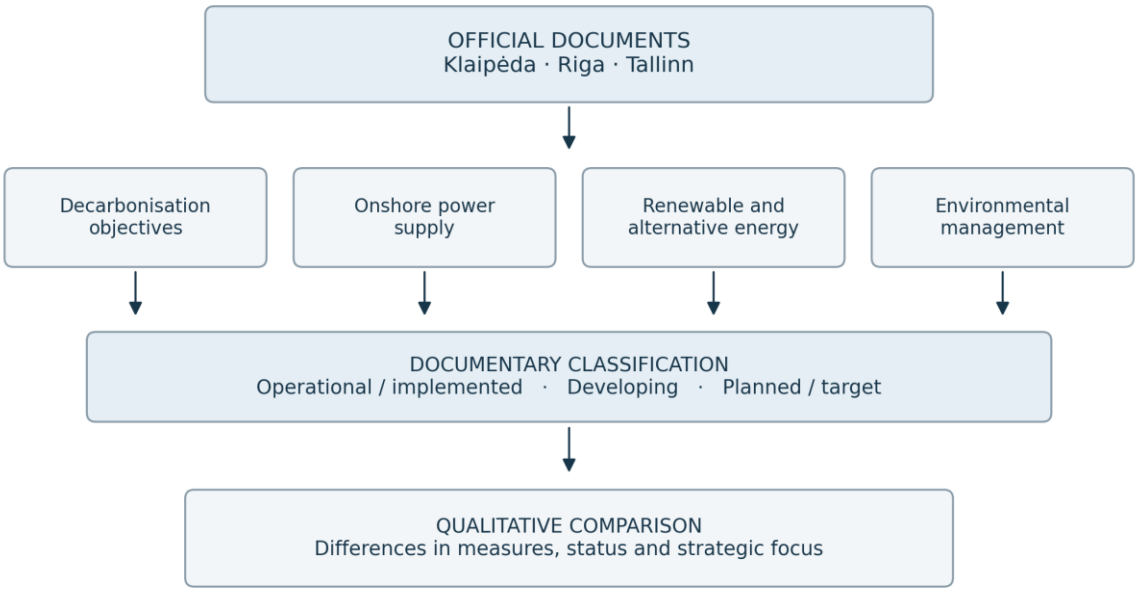


Figure 1. Documentary comparative research framework. Source: author's compilation based on the research design.

Decarbonisation objectives and strategic direction

Klaipėda Port Authority identifies development of a green port as part of its environmental policy and states that its Green Port Development Plan is being implemented. Its public environmental information also identifies measures relating to emissions from shipping, port environmental review and the provision of electricity to vessels (Klaipėda State Seaport Authority, n.d.-b). This represents a programme of interrelated measures rather than a single technological intervention.

The Freeport of Riga Authority presents environmental protection and resource-efficient management as part of its approach to sustainable port development. Its published Green Port material connects industrial and logistics activities with the conservation of sensitive areas, while its environmental management disclosures describe systematic monitoring of emissions, groundwater and other environmental aspects (Freeport of Riga Authority, n.d.-b, n.d.-c). The authority also supports projects designed to extend renewable-energy and wind-technology supply chains in port territory (Freeport of Riga Authority, 2024, 2026).

Port of Tallinn specifies an explicit long-term objective to achieve climate neutrality for company operations by 2050. Its 2025 Sustainability Report sets out policy measures, a transition plan and indicators for energy use and greenhouse-gas emissions. The report distinguishes company operations from wider emissions involving customers, ships and other value-chain actors (Port of Tallinn, 2026). Accordingly, the 2050 objective should not be presented as evidence that the entire geographic port area has already attained climate neutrality.

Onshore power supply infrastructure

The Klaipėda State Seaport Authority reports that shore-side electricity facilities for ro-ro vessels have been installed at specified quays and that the stations are intended to enable ships to receive electricity at berth without operating auxiliary engines for their electrical needs. Its project description indicates that up to four vessels can be connected at the same time when the relevant installations enter service. The reported deployment and stated commissioning schedule should be distinguished from verified annual utilisation (Klaipėda State Seaport Authority, n.d.-a).

At Tallinn's Old City Harbour, shore power was commissioned for passenger services in 2020, and the authority identifies its availability for ferries on the Tallinn–Helsinki and Tallinn–Stockholm routes. The port reports additional shore-power development for cruise ships at Old City Harbour and for ro-pax and container vessels at Muuga Harbour. The existing ferry connections and the planned expansion to other ship categories therefore represent different stages of OPS deployment (Port of Tallinn, 2020, 2026).

For Riga, the official sources reviewed in this comparison provide detailed information on environmental management and energy-related investment initiatives, but do not provide a directly comparable, verified inventory of operating shore-power connections and their utilisation. This is recorded as a documentation limitation, not as evidence that no OPS facilities exist. Comparison of current OPS coverage among all three ports would require harmonised berth-level operational data.

Renewable energy and alternative fuels

Klaipėda Port officially opened a green hydrogen production and refuelling facility on 5 June 2026. According to the Port Authority, the facility uses a polymer electrolyte membrane electrolyser and has a stated full-capacity production capability of approximately 127 tonnes of hydrogen annually. The authority identifies intended applications in port operations and transport; this installed capacity must not be confused with verified full-year output (Klaipėda State Seaport Authority, 2026).

In Riga, the authority reported in September 2024 that a land lease agreement had been signed for development of a solar park in the Spilve Meadows area. The project documentation describes a planned nominal capacity of 100 MW and projected annual electricity generation of approximately 100,000 MWh. Both figures relate to the announced project design and must not be reported as electricity already produced (Freeport of Riga Authority, 2024).

Riga is also developing port and logistics infrastructure in Kundziņsala intended to support manufacture of onshore and offshore wind-technology components. The authority describes a phased project involving infrastructure construction and industrial investors, with subsequent manufacturing-related investments planned. This is a green-industry-enabling infrastructure project, rather than evidence that wind electricity is generated at the site (Freeport of Riga Authority, 2026).

The Freeport of Riga Authority participates in the BalticSeaH2 cross-border hydrogen project. Its described contribution concerns investigation of maritime hydrogen transport, storage, production and alternative-fuel applications, including feasibility work on adapting an auxiliary vessel to hydrogen-hybrid propulsion. The documented activity is research and project preparation; it should not be equated with a completed hydrogen bunkering service (Freeport of Riga Authority, n.d.-a).

Tallinn reports purchasing exclusively renewable electricity for its own use since 2021. Its 2025 Sustainability Report records renewable electricity purchases and the contribution of photovoltaic generation to its electricity consumption. This relates to the energy procurement and production of the reporting company. The same report describes development of further shore-power capability and alternative-fuel infrastructure as future components of the transition plan (Port of Tallinn, 2026).

Environmental management and monitoring

The Klaipėda State Seaport Authority states that Klaipėda obtained certification under the Port Environmental Review System (PERS) in 2024. The authority describes continued environmental monitoring and publication of environmental reports as elements of the system. PERS certification provides evidence of a documented environmental management approach; by itself it does not quantify achieved reductions in pollutants (Klaipėda State Seaport Authority, n.d.-b).

The Freeport of Riga Authority reports implementation of an environmental management system in line with ISO 14001, with certification dating from 2005. Its public information identifies monitoring of air, groundwater and other environmental parameters, and control of ship-generated waste and relevant port risks. The authority also reports implementation of an ISO 50001-compliant energy management framework (Freeport of Riga Authority, n.d.-b, n.d.-d).

The Port of Tallinn publishes greenhouse-gas monitoring information and environmental performance indicators in its sustainability reporting. The 2025 report presents emissions and energy-related targets together with performance data and future measures. In contrast to general environmental policy statements, these disclosures provide a basis for following the authority's reported progress over time within its stated reporting boundary (Port of Tallinn, 2026).

Cross-port comparison

Table 1 summarises the documentary comparison. "Planned" or "developing" denotes the status explicitly described in official sources and is not scored as a completed environmental benefit.

Criterion	Klaipėda	Riga	Tallinn
Decarbonisation direction	Green Port Development Plan under implementation.	Green Port approach and cleaner-energy industrial development.	Company climate-neutrality goal for 2050; reported transition plan.
Onshore electricity	Ro-ro OPS installed; commissioning / service expansion described.	Comparable operating OPS inventory not established in reviewed sources.	Existing ferry OPS in Old City Harbour; further terminals planned.
Renewable / alternative energy	Green hydrogen facility opened in June 2026; stated production capacity.	100 MW solar park planned; wind-components infrastructure in development; BalticSeaH2 feasibility work.	Renewable electricity purchased for own use; solar power and further alternative-fuel initiatives.
Environmental management	PERS certification and environmental reporting.	ISO 14001 management and environmental monitoring; ISO 50001 energy management.	GHG accounting, sustainability reporting and environmental indicators.

Table 1. Comparative overview of documented Green Port measures. Source: compiled from the official port-authority publications cited in the text.

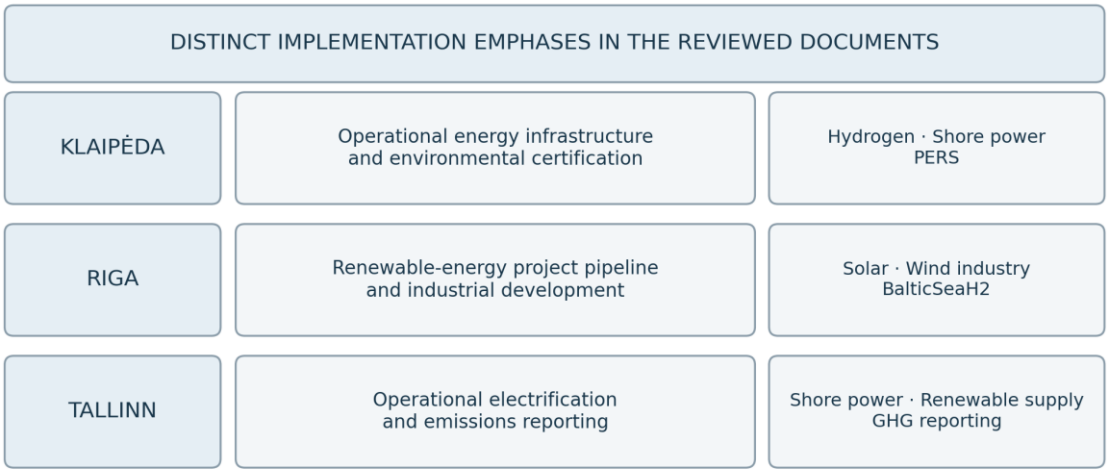
The comparison reveals three different emphases within a common transition agenda. Klaipėda combines a formal environmental-management framework with newly opened hydrogen infrastructure and shore-power investment. Riga places considerable emphasis on environmental governance and the development of port land and logistics infrastructure for renewable-energy industries, alongside hydrogen-related

research. Tallinn provides an explicitly dated corporate climate target, records renewable electricity procurement and maintains operating ferry shore-power connections, supported by regularly published environmental performance indicators.

These differences do not demonstrate that one port is more sustainable overall. The dataset combines different kinds of information: operational facilities, project commitments, management certifications and reported indicators. The most defensible finding is that implementation pathways and documented stages vary, and therefore port-level assessment requires both project-status verification and comparable outcome indicators.

DISCUSSION: INTERPRETATION IN THE LIGHT OF PRIOR RESEARCH

The comparison supports a central observation from port sustainability scholarship: green-port implementation is multidimensional and cannot be assessed adequately by a single project or certification. Lim et al. (2019) highlight the importance of performance measurement, while Fei et al. (2025) document the variety of evaluation methods and indicators. The three selected ports provide a practical illustration of this challenge. The available documentary record allows identification of strategic and technological choices but does not allow a uniform calculation of port-level sustainability performance. Figure 2 synthesises the main implementation emphases identified across the case studies; unlike Table 1, it does not repeat the full criterion-by-criterion inventory.



Qualitative interpretation of documented priorities, not a ranking of port sustainability

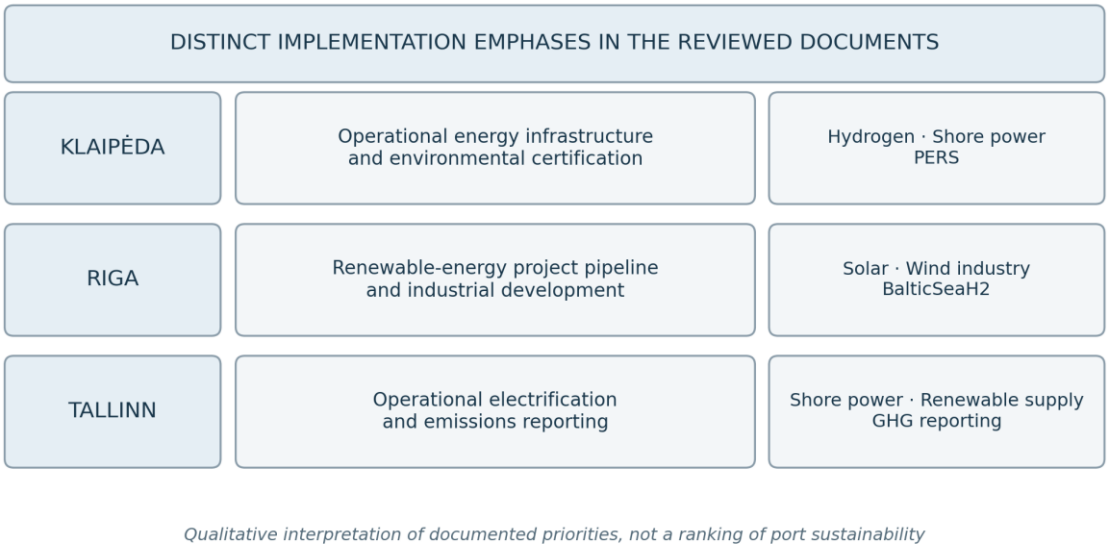


Figure 2. Main implementation emphases identified in the three case studies. Source: author's qualitative synthesis of the official port documents cited in the text.

Klaipėda's hydrogen facility, shore-power initiatives and environmental-management framework illustrate different stages and types of intervention. The hydrogen facility is a commissioned asset, whereas its actual environmental contribution would require evidence on energy inputs, utilisation and displaced conventional fuels. This distinction is consistent with Zhang et al. (2024), who examine both the potential and the implementation limitations of alternative fuels and emission-reduction technologies. Similarly, the presence of shore power infrastructure in Klaipėda and Tallinn does not determine the amount of emissions avoided without ship connection, electricity-source and baseline data.

The Riga case highlights another analytical distinction. The officially described solar and wind-related initiatives and BalticSeaH2 involvement demonstrate an investment and innovation direction, but projects in development should not be entered into a cross-port comparison as realised generation or emissions savings. Alzahrani et al. (2021) show that decarbonisation depends on the integration of energy systems and governance conditions, not merely the existence of separate technology proposals. Tallinn's declared climate-neutrality objective and published monitoring indicators, in turn, allow its strategic trajectory and selected performance reporting to be examined; they do not establish that the objective has already been achieved.

The interpretation of management systems also requires care. Puig et al. (2014) distinguish managerial indicators from environmental-condition indicators, and Styliadis et al. (2022) show why measuring environmental externalities calls for explicitly defined metrics. PERS certification in Klaipėda, ISO 14001-based management in Riga and sustainability reporting in Tallinn are informative governance signals, but they are not directly interchangeable measures of air quality, energy efficiency or greenhouse-gas reductions. A subsequent quantitative study would need harmonised boundaries, reference years, vessel activity, energy consumption and emissions accounting before comparing impacts.

A limitation of the present design is its reliance on publicly disclosed documentation, which differs in scope, terminology, update frequency and reporting boundaries across authorities. The three cases form a purposive regional comparison rather than a statistically representative sample. The scientific literature is used to substantiate the analytical framework and interpret the findings, not to certify individual port-authority claims. The resulting conclusions are therefore confined to documented approaches and implementation status as of the source-review period, rather than causally demonstrated environmental outcomes.

CONCLUSION

The comparative analysis confirms that the Green Port concept in Klaipėda, Riga and Tallinn is implemented through multiple interconnected fields: energy supply, port infrastructure, alternative fuels and environmental management. The three port authorities address these fields with different

combinations of operational assets, investment projects, management systems and targets.
In Klaipėda, the reviewed official information confirms the opening of a green hydrogen production and refuelling facility in June 2026, PERS-based environmental management and shore-power infrastructure development. In Riga, official publications establish ISO 14001-based environmental management, a planned large-scale solar project, developing wind-technology manufacturing infrastructure and participation in BalticSeaH2 research activities. In Tallinn, the evidence documents an operational ferry shore-power system, renewable electricity procurement for own use, sustainability reporting and a 2050 climate-neutrality objective for the company's operations.
The documents support a conclusion about the diversity of implementation measures, but not a robust ranking of environmental performance. Project capacity does not equal realised production, a target does not equal achievement, and certification does not by itself establish emissions reductions. Further comparative research would require consistent, time-aligned measures of greenhouse-gas emissions, OPS utilisation, energy consumption and the actual outputs of alternative-fuel facilities, reported against harmonised organisational boundaries.

REFERENCES

Alzahrani, A., Petri, I., Rezgui, Y., & Ghoroghi, A. (2021). Decarbonisation of seaports: A review and directions for future research. Energy Strategy Reviews, 38, Article 100727. https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100727
European Parliament & Council of the European Union. (2023a). Regulation (EU) 2023/1804 of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804
European Parliament & Council of the European Union. (2023b). Regulation (EU) 2023/1805 of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805
Fei, H., Shi, H., & Pan, X. (2025). A systematic review of green port evaluation: Methods, subjects, and indicators. Journal of Marine Science and Engineering, 13(3), Article 604. https://doi.org/10.3390/jmse13030604
Freeport of Riga Authority. (n.d.-a). Cross-border Hydrogen Valley around the Baltic Sea. https://rop.lv/en/projects/cross-border-hydrogen-valley-around-baltic-sea
Freeport of Riga Authority. (n.d.-b). Environment protection. https://rop.lv/en/environment-protection
Freeport of Riga Authority. (n.d.-c). Green Port. https://rop.lv/en/green-port
Freeport of Riga Authority. (n.d.-d). Quality management. https://rop.lv/en/quality-management
Freeport of Riga Authority. (2024, September 10). One of the largest solar parks in the Baltics to be built in the Port of Riga. https://rop.lv/en/news/one-largest-solar-parks-baltics-be-built-port-riga
Freeport of Riga Authority. (2026, January 12). The first investor has been engaged to develop the wind technology production complex in Kundziņsala. https://rop.lv/en/news/first-investor-has-been-engaged-develop-wind-technology-production-complex-kundzinsala
Klaipėda State Seaport Authority. (n.d.-a). Electricity supply for ships. https://portofklaipeda.lt/en/port-authority/projects/electricity-supply-for-ships/
Klaipėda State Seaport Authority. (n.d.-b). Environmental protection. https://portofklaipeda.lt/en/community/environmental-protection/
Klaipėda State Seaport Authority. (2026, June 5). Klaipėda Port opens Lithuania's first green hydrogen station. https://portofklaipeda.lt/en/naujienos/klaipeda-port-opens-lithuanias-first-green-hydrogen-station/
Lim, S., Pettit, S., Abouarghoub, W., & Beresford, A. (2019). Port sustainability and performance: A systematic literature review. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 72, 47–64. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.009
Port of Tallinn. (2020, September 11). The shore power solution launched today improves air quality and reduces noise in Old City Harbour and City of Tallinn. https://www.ts.ee/en/the-shore-power-solution-launched-today-improves-air-quality-and-reduces-noise-in-old-city-harbour-and-city-of-tallinn/
Port of Tallinn. (2026). Sustainability report 2025. https://www.ts.ee/wp-

content/uploads/2026/04/Sustainability_Report_2025.pdf
Puig, M., Wooldridge, C., & Darbra, R. M. (2014). Identification and selection of environmental performance indicators for sustainable port development. Marine Pollution Bulletin, 81(1), 124–130. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.006
Styliadis, T., Angelopoulos, J., Leonardou, P., & Pallis, P. (2022). Promoting sustainability through assessment and measurement of port externalities: A systematic literature review and future research paths. Sustainability, 14(14), Article 8403. https://doi.org/10.3390/su14148403
Zhang, L., Zeng, Q., & Wang, L. (2024). How to achieve comprehensive carbon emission reduction in ports? A systematic review. Journal of Marine Science and Engineering, 12(5), Article 715. https://doi.org/10.3390/jmse12050715

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DATES AND GLOBALLY IMPORTANT AGRICULTURAL PRODUCTS IN JORDAN: EVIDENCE FROM ARCHAEOLOGICAL EXCAVATIONS IN THE CONTEXT OF THE MEDITERRANEAN BASIN

Mohammed Waheeb
Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism
(QRFTH), The Hashemite University.

Abstract

Jordan, due to its geographical location at the heart of the Levant and as one of the Mediterranean countries, has throughout history constituted a center of civilizations and a field of agricultural activities that shaped its economy and society. The diversity of its climate, ranging from the warm Jordan Valley to the temperate highlands, provided fertile ground for the growth of strategic crops that became closely tied to Jordan's history and agricultural identity. Among the most significant of these are Medjool dates, sugarcane, almonds, and olives. Archaeological excavations that began in Jordan in 1929 confirmed the discovery of seeds of these crops in many archaeological sites, and both Jordanian and foreign missions have emphasized the importance of these agricultural findings dating back to the Neolithic period. This has led to the assertion that the beginnings of agriculture in the Mediterranean basin can be traced to the Jordan Valley.

Medjool dates are among the most renowned crops associated with Jordan. Originating in the southern Jordan Valley, particularly in the Ghor region, the favorable natural conditions contributed to their high-quality production. The Medjool later spread to North Africa and the United States in the 20th century, yet it remains strongly linked to Jordan as its original homeland and continues to represent one of the pillars of the country's export-oriented agriculture.

Sugarcane cultivation flourished during the Islamic periods, especially under the Umayyads and Mamluks, when advanced sugar mills were established in Ghor al-Safi and other parts of the Jordan Valley. Their products were exported to markets across the Levant to meet the growing demand for this vital commodity. Archaeological excavations revealed the remains of 32 sugar mills in the Jordan Valley dating to both the early and later Islamic periods, producing the famous "Montreal sugar" known for its refinement. The largest sugar mill ever discovered in the southern Jordan Valley (Ghor al-Safi) has been documented in field reports.

In the temperate highlands of northern and central Jordan, almond cultivation thrived in combination with figs and grapevines under traditional dryland (ba'li) farming systems. Almonds became an essential dietary element and a contributor to both local and regional trade. To this day, varieties of almonds cultivated worldwide carry the legacy of Jordan, and cultural traditions across Jordanian towns continue to preserve customs associated with almonds, sugar, and the various sweets prepared from them. Excavations at sites such as 'Ain Ghazal confirmed that almonds were cultivated in Jordan since the Neolithic period.

Olives stand out as one of the oldest and most significant crops in Jordan's history. Some of the ancient "Mahrasi" olive trees in northern Jordan are believed to be more than two thousand years old. Olives have been tied to daily life through food, lighting, and trade. Today, Jordan remains one of the leading producers of high-quality olive oil in the region. Scientific studies further indicate that the "Mahrasi" olive variety found in Italy, Greece, and Cyprus originated in northern Jordan, particularly in the area of Ajloun.

Taken together, these crops were far more than mere foodstuffs; they played a vital role in shaping Jordan's economic and cultural identity, and they made its land a bridge of commercial and cultural exchange with other Mediterranean countries throughout the ages. To this day, they stand as living testimony to the enduring relationship between humans and the land in Jordan a country that has remained faithful to its agricultural heritage while innovating to meet the demands of the present.
Keywords: Agriculture, Archaeology, Seeds. Flotation. Excavations, Trade.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

WATER FLOTATION AS A TOOL FOR QUALITY ASSESSMENT AND GRADING OF NIQLAOUI DATES IN JORDAN

Mohammed Waheeb

The Hashemite University, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism

Abstract:
The Niqlaoui (Medjool) date in the Jordan River Basin represents a unique agricultural and strategic product linked to specific climatic and geographical conditions that grant it high economic and export value. However, supply and sorting chains face an obstacle that hinders the crop from reaching top-tier competitive grades: structural variability among fruits and the post-harvest emergence of hidden physiological defects, most notably skin separation (Puffing) and internal air pockets. Due to the limitations of traditional visual and manual sorting methods in detecting tissue flaws without damaging the fruit, this study presents water flotation technology as an innovative, non-destructive hydrostatic measurement tool based on specific gravity and bulk density for crop grading.

Research Objectives
The main objectives of this study are:
1. Establishing an applied framework for utilizing advanced water flotation technology to sort and evaluate the quality of Niqlaoui dates produced in the Jordanian Ghor.
2. Analytically linking the biochemical indicators of the fruit (total soluble solids , moisture content, and tissue mass) to its hydrodynamic behavior in carrier fluids.
3. Calibrating and developing four flotation protocols (standard density-based solutions, micro-bubble DAF flotation, puffing separation, and continuous hydrodynamic sorting) to resolve density variation defects.

Methodology & Experimental Design
Tests were conducted on representative random samples of Niqlaoui dates harvested from orchards in the Jordan River Basin. Initial morphometric and biochemical measurements were taken to determine initial density, followed by processing through a multi-stage hydraulic sorting system based on the following parameters:
- **Standard Density Solutions:** Calibrating sugar and salt solution densities () to categorize fruits into quality classes () based on dry matter ratio and the settling of sugar-rich fruit.
- **Micro-Bubble Flotation (DAF):** Injecting fine air bubbles to adhere to surface cavities and cracks, floating structurally damaged fruits to the surface for removal.
- **Puffing Separation:** Exploiting hydrostatic density differentials caused by air gaps to isolate fruit affected by skin separation using liquid settling acceleration equations.

Conclusion
The study concludes that implementing density-based water flotation technology offers a technological solution and agricultural innovation that bridges the unique environment of the Jordan Valley with international quality standards. Transitioning to hydrodynamic sorting enhances the export competitiveness of Jordanian produce and eliminates skin separation issues, bolstering the strategic standing of Niqlaoui dates in global markets as a premium-quality product.

Keywords
Niqlaoui Dates (Medjool), Water Flotation, Jordan River Basin, Quality Assessment, Specific Gravity, Skin Separation (Puffing), Density Sorting, Micro-Bubbles (DAF).

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE DUAL MODEL OF THE BANK OF INDOCHINA AND CAPITAL MOBILIZATION MECHANISMS FOR TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN VIETNAM (1875-1945)

Dr. Duong To Quoc THAI
Lecturer in History, Faculty of Social Science Education, Dong Thap University, Vietnam
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-1929-3751
Dr. Duong Thi Ngoc MINH
Lecturer at the Can Tho City Political School, Vietnam
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-1535-3772
Nguyen Duy CUONG
Graduate student of Dong Thap University, Vietnam

ABSTRACT
This paper analyzes the dual operational model functioning simultaneously as a central issuing bank and a private commercial/investment bank of the Bank of Indochina (BIC), alongside its capital mobilization mechanisms for transportation infrastructure in Vietnam from 1875 to 1945. Utilizing historical and logical methods combined with colonial archival sources, the research elucidates how BIC leveraged its exclusive privilege of issuing the silver Piastre, floating government and corporate bonds, and forging financial alliances to fund key railway, seaport, and road networks (such as the Trans-Indochina Railway, Yunnan Railway, and the ports of Haiphong and Saigon). The findings indicate that BIC's capital mobilization was not merely a technical credit operation, but a strategic colonial financial lever designed to optimize economic exploitation, serve military-administrative interests, and consolidate French capitalist hegemony. Consequently, the study contributes to decoding the nature of monopoly financial capitalism and evaluating the dual impact of infrastructure modernization on the socio-economic transformation of colonial Vietnam.
Keywords: *Bank of Indochina, Dual model, Capital mobilization, Transportation infrastructure, Colonial financial history.*

1. INTRODUCTION
During the colonial period of Vietnamese history (1875-1945), the economic exploitation conducted by French colonialism brought about profound socioeconomic transformations across all spheres. To convert Indochina from a theater of military conquest into a profitable economic engine for the metropolis, the colonial administration recognized that establishing a modern transportation system was an absolute priority. Within this strategy, railways and maritime ports were identified as the two strategic axes designed to connect raw material regions in the hinterland with international markets. However, constrained by a tight colonial budget and the strict fiscal self-sufficiency policy mandated by the French Parliament, the colonial apparatus was incapable of undertaking such large-scale projects without a central financial instrument. The emergence of the Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC) as an exclusive financial institution served as the "operating system," directly controlling and shaping the entire process of planning, financing, and exploiting strategic transportation infrastructure in Vietnam.
The impact of the Bank of Indochina on transport infrastructure was clearly demonstrated through its unique "dual" operational model: acting simultaneously as a bank of issue and an investment bank. Dương Tô Quốc Thái (2021) demonstrated that the exclusive privilege of issuing the Indochinese piastre and managing the colonial treasury provided the Bank of Indochina with abundant liquidity at virtually zero cost, thereby generating powerful leverage to monopolize and guarantee key infrastructure projects. By arranging major public loan issues on the Paris stock market and extending credit to construction contractors, the Bank of Indochina transformed public works into highly lucrative investment domains for metropolitan capital. In particular, the alignment between BIC's capital streams and colonial exploitation policies was explicitly outlined by Paul Doumer (2017) in his 1898 comprehensive transport master plan, which prioritized the Trans-Indochinoise railway and the modernization of the strategic ports of Saigon and Haiphong to unify the entire Union.
Another pivotal aspect of BIC's operational mechanism was the establishment of a sophisticated financial-industrial alliance through interlocking directorates and controlling share acquisitions. Yasuo Gonjo

(2018) pointed out that BIC did not merely act as a passive financial sponsor, but directly held controlling stakes in major concessionary enterprises, most notably the Compagnie des Chemins de Fer de l'Indochine et du Yunnan (CIY), thereby mastering the entire flow of investment capital and cross-border transport revenues. This pervasive financial presence simultaneously accelerated the mechanization of transport and tightened colonial control over strategic economic arteries. Evaluating the historical ramifications of this process, Brocheux and Hémery (2022) observed that while the transport infrastructure funded by French financial capital conferred a modern appearance upon Indochina, it simultaneously functioned to deepen the economic dependence of Vietnam on the metropolis. A recent empirical study by Duong To Quoc Thai et al. (2026) further affirmed that BIC's financing of challenging railway sections and strategic port facilities systematically transformed transport infrastructure into an effective tool for commodity circulation and capital accumulation, establishing the undisputed hegemony of French financial capital in Vietnam from 1875 to 1945.

Grounded in these historical premises, the research presented in the article *"The Dual Model of the Bank of Indochina and Capital Mobilization Mechanisms for Transportation Infrastructure in Vietnam (1875-1945)"* holds profound scientific and practical significance. The paper elucidates BIC's dual model and capital mobilization mechanisms for railway and port construction, thereby deconstructing the extractive nature of financial colonialism while offering an objective assessment of transport infrastructure legacies within the modern historical trajectory of Vietnam.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. The Monopoly Dual Model of the Bank of Indochina (BIC) and Colonial Capital Creation

The Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC), established pursuant to the Presidential Decree of January 21, 1875, represented an unprecedented institutional model of colonial finance in modern economic history. Operating far beyond the boundaries of a standard commercial bank, BIC was invested with state-delegated authority to hold the exclusive monopoly on currency issuance and colonial treasury management across French Indochina. Dương Tô Quốc Thái (2021) demonstrated that this "dual model" seamlessly fusing the functions of a central bank of issue with those of a merchant/investment bank (*banque d'affaires*) endowed BIC with the unique capacity to generate vast liquidity at virtually zero marginal cost. By issuing the silver-backed Indochinese piastre (*Piastre d'Indochine*, later pegged to the French franc) and retaining non-interest-bearing treasury deposits derived from colonial tax revenues, BIC assembled a formidable capital base without incurring conventional commercial funding risks.

This monetary creation mechanism served as the direct financial engine for colonial economic exploitation. In imperial economic theory, V. I. Lenin (1917/2021) posited that imperialism in its highest stage is characterized by the merger of bank capital with industrial capital to form "financial capital," wherein a financial oligarchy manipulates state machinery to convert colonial infrastructure into hyper-profitable investment domains. BIC constituted the quintessential empirical realization of this theoretical construct. By exercising monopolistic control over the Indochinese currency and foreign exchange markets, BIC not only secured massive arbitrage profits but also systematically siphoned public treasury resources into long-term investment credits earmarked for strategic transport infrastructure.

2.2. Capital Mobilization Mechanisms and Financing of Strategic Railway Projects

Railway infrastructure in Vietnam between 1875 and 1945 was not designed to foster indigenous socioeconomic development; rather, it was engineered strictly to serve military control, administrative centralization, and the systematic extraction of raw materials. Paul Doumer (1902/2017), in his 1898 Master Infrastructure Plan, identified the Trans-Indochinese Railway (*Transindochinois*) and the Yunnan Railway as the two structural pillars required to consolidate colonial rule and project French leverage into Southwest China. Nevertheless, executing this grandiose vision demanded capital expenditures that far exceeded the immediate capacity of the colonial budget.

To bridge this fiscal deficit, BIC orchestrated a sophisticated, multi-tiered capital mobilization framework:

1. **Underwriting Colonial Bonds (*Emprunts coloniaux*):** BIC acted as the primary financial intermediary, underwriting, issuing, and floating large-scale bond issues guaranteed by the General Government of Indochina on the Paris Bourse. The milestone 200-million-franc public loan of 1898 exemplifies this practice, channeling metropolitan investment directly into primary railway trunk lines.

2. **Structuring Concessionary Corporations (*Sociétés bénéficiaires de concessions*):** BIC actively capitalized and maintained controlling equity stakes in leading industrial-transport conglomerates. Yasuo Gonjo (1993/2018) highlighted that for the Haiphong-Yunnan Fou line, BIC collaborated with premier French investment houses (such as the Banque de Paris et des Pays-Bas) to incorporate the Compagnie des Chemins de Fer de l'Indochine et du Yunnan (CIY) in 1901. BIC derived compound returns by securing interest yields on construction loans while simultaneously capturing dividend distributions and operational revenues from this cross-border railway line.

Duong, Duong, and Nguyen (2026) demonstrated that through these sophisticated guarantee mechanisms, BIC effectively shifted all long-term debt liabilities onto the colonial fiscal apparatus and ultimately onto native taxpayers through regressive taxation while siphoning interest yields and transport dividends back to financial syndicates in Paris. Major lines including Saigon-My Tho (1881-1885), Hanoi-Dong Dang, and the complete Trans-Indochinese trunk (completed in 1936) bear the clear imprint of BIC's financial engineering.

Railway Line / Project	Construction / Financing Period	BIC's Financial Role	Strategic Objective
Saigon - My Tho	1881 - 1885	Provided short-term credit and payment guarantees for contractor Joret.	Evacuation of Mekong Delta rice harvests to Saigon Port.
Hanoi - Haiphong - Yunnan (CIY)	1901 - 1910	Co-founded CIY, underwrote colonial bonds, held controlling equity.	Penetration of South China market (Yunnan) and mineral extraction.
Trans-Indochinese Railway (Transindochinois)	1898 - 1936	Underwrote successive colonial loan series (1898, 1912, 1931).	Unification of North-South corridor for troop mobility and federal administration.

2.3. Port Infrastructure Financing: Saigon, Haiphong, and Da Nang

In tandem with rail networks, maritime port systems functioned as the ultimate maritime terminals of the extractive architecture, linking the colonial economy directly to the global trade networks of the French Empire. Jean-Pierre Aumiphin (1996) emphasized that French investment strategy in Indochina was fundamentally characterized by an "enclosed export-oriented" structure, wherein maritime ports served as vital conduits for exporting raw agricultural and mineral commodities (rice, natural rubber, coal) while absorbing manufactured consumer goods from the metropolis.

BIC deployed long-term financing to construct and modernize seaport infrastructure through two primary avenues:

- ***Port of Saigon:*** Serving as the principal export outlet for Cochinchina's agricultural wealth. Trương Thị Hòa (2019) revealed that BIC extended extended credit facilities to the Commercial Port of Saigon (*Port de Commerce de Saigon*) to modernize deep-water quays, warehousing complexes (across Cholon and Ben Nghe), and mechanized cranes. This modernization exponentially augmented throughput capacity, facilitating the annual export of millions of tons of rice and generating massive foreign exchange streams and customs revenues for which BIC acted as the primary clearing house.
- ***Port of Haiphong:*** As Tonkin's principal maritime gateway and the transshipment hub for South China, Haiphong received substantial BIC funding to dredge the Cua Cam navigational channel and build extensive dock and warehouse facilities managed by the Société des Docks et Entrepôts de Haïphong.
- ***Ports of Da Nang (Tourane) and Cam Ranh:*** BIC participated in funding structural surveys and deep-water pier facilities to serve naval logistics and regional commercial transport across Annam.

BIC's seaport capitalization extended beyond physical civil engineering works to encompass the corporate financing of major private maritime navigation firms, such as the *Messageries Maritimes* and the *Société des Messageries Fluviales de l'Indochine*.

2.4. Financial-Industrial Alliances and Socioeconomic Ramifications

Archival evidence confirms that BIC's hegemony fostered a tightly integrated "Financial-Industrial

Alliance." BIC's Board of Directors mirrored an elite network of French high finance and heavy industry, interlocking directorates from prominent private banks (Banque de Paris et des Pays-Bas, Comptoir National d'Escompte) with leaders of mining, railway, and port concessions.

Pierre Brocheux and Daniel Hémery (2001/2022) argued that while BIC's infrastructure investments bestowed a veneer of technological modernity upon Indochina, they fundamentally produced a structural "colonial economic distortion." Infrastructure development was concentrated exclusively along extractive corridors (connecting the coalfields of Quang Ninh, the rubber plantations of Dong Nai, and the rice basins of the Mekong Delta directly to Haiphong and Saigon seaports), while completely neglecting basic civil transport needs in impoverished agrarian hinterlands.

The ultimate social consequence of this financing model was the compounding tax burden imposed upon the indigenous population. The colonial government was forced to elevate direct and indirect tax levies (head taxes, salt monopolies, spirit excise taxes) to service the debt on BIC-underwritten loans. Charles Robequain (1944), in his landmark study on colonial Indochina's economic development, asserted that the immense public debt accrued from BIC-financed infrastructure projects was systematically converted into fiscal liabilities borne by Vietnamese peasantry, while corporate profits were transferred directly to shareholder accounts in Paris.

Furthermore, BIC's institutional monopoly over credit and transport capital severely constrained the emergence of native Vietnamese capital. Indigenous merchants were systematically denied access to long-term credit at preferential interest rates, effectively excluding them from large-scale commercial transport ventures and confining native enterprise to fragmented, small-scale intermediary roles.

3. CONCLUSION

The examination of investment activities in railway and port infrastructure in Vietnam between 1875 and 1945 clearly uncovers the pivotal role played by the Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC) within the dynamics of French colonial economic exploitation. The execution of large-scale infrastructure projects was materialized not through the constrained colonial budget, but rather via BIC's monopolistic "dual model" which seamlessly fused the central bank's exclusive currency issuance privileges with the strategic functions of an investment bank. As Dương Tô Quốc Thái (2021) concluded, this institutional configuration endowed BIC with absolute authority over monetary liquidity, systematically converting non-interest-bearing treasury deposits and seigniorage profits from the Indochinese piastre into immense financial leverage to capitalize key infrastructure ventures.

Through sophisticated mechanisms such as floating colonial bonds, underwriting long-term credit, and establishing financial-industrial alliances with concessionary cartels, BIC transformed trans-regional railway trunk lines and seaport modernizations in Saigon and Haiphong into highly lucrative investment domains for metropolitan capital. Nevertheless, this infrastructure expansion exhibited a deeply distorted, "enclosed export-oriented" character. Nguyễn Duy Cường (2020) highlighted that the transportation network during this era was entirely dictated by military imperatives and raw material extraction, creating a structural disconnect between colonial economic corridors and the authentic socioeconomic development needs of the indigenous population.

The historical consequence of this financing model was the firm establishment of French financial capital's hegemony and the profound economic dependence of Vietnam on the metropolis. Brocheux and Hémery (2022) observed that while BIC-financed infrastructure conferred a veneer of modern mechanization upon Indochina, it simultaneously saddled the native population with regressive tax burdens and long-term public debt spanning generations. Evaluating the overarching nature of this historical trajectory, Duong, Duong, and Nguyen (2026) affirmed that BIC successfully converted transport infrastructure into a capital accumulation engine serving the Paris financial oligarchy, thereby establishing a textbook model of financial colonialism. The physical transport legacies remaining after 1945 served as both a modern technological foundation and an enduring historical testimony to the sophisticated economic exploitation of French colonialism in Vietnam.

REFERENCES

Aumiphin, J.-P. (1996). *La présence financière et économique française en Indochine (1885-1954)* [The French financial and economic presence in Indochina (1885-1954)] (P. T. Dung, Trans.).

Brocheux, P., & Hémery, D. (2022). *Indochine: Une colonisation ambiguë (1858-1954)* [Indochina: An ambiguous colonization (1858-1954)] (B. T. Phuong et al., Trans.). The Gioi Publishers. (Original work published 2001).

Doumer, P. (2017). *L'Indo-Chine française (Souvenirs)* [French Indochina (Memoirs)] (L. D. Chi, Trans.). The Gioi Publishers. (Original work published 1902).

Duong, T. Q. T. (2021). *The Bank of Indochina in the process of French colonization in Vietnam (1875-1954)*. [Doctoral dissertation, Ho Chi Minh City University of Education].

Duong, T. Q. T. (2026). The role of the Bank of Indochina during the French colonial invasion of Tonkin (1882-1895). *Vietnam Journal of Defense Strategy and History*, *5*(1), 121-129.

Duong, T. Q. T., Duong, T. N. M., & Nguyen, D. C. (2026). Financial sponsorship of the Bank of Indochina for the Trans-Indochina railway project (1890-1936). *Journal of Historical and Economic Studies*, *2*(1), 815-825.

Gonjo, Y. (1993). *Banque de l'Indochine et imperialisme francais en Extreme-Orient (1875-1939)*. [Banque de l'Indochine and French imperialism in the Far East (1875-1939)]. Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

Lenin, V. I. (2021). *Imperialism, the highest stage of capitalism*. Su That National Political Publishing House. (Original work published 1917).

Nguyen, D. C. (2020). *Transportation infrastructure investment by French capital in Indochina (1888-1939)*. [Master's thesis, University of Social Sciences and Humanities, VNU Ho Chi Minh City].

Robequain, C. (1944). *The economic development of French Indo-China* (J. O. Ward, Trans.). Oxford University Press.

Silvestre, J. (2020). *L'économie de la Cochinchine coloniale* [The economy of colonial Cochinchina] (P. T. Dung, Trans.). Ho Chi Minh City General Publishing House.

Truong, T. H. (2019). *History of Saigon seaport development and the commercial port system of Cochinchina during 1860-1945*. Van Hoa - Van Nghe Publishing House.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FROM TRADITIONAL METALLIC CURRENCY TO FIAT PIASTRE: THE ROLE OF THE BANK OF INDOCHINA IN MODERNIZING PAYMENT BEHAVIORS IN VIETNAM (1875-1930)

Dr. Duong To Quoc THAI
Lecturer in History, Faculty of Social Science Education, Dong Thap University, Vietnam
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-1929-3751
Dr. Duong Thi Ngoc MINH
Lecturer at the Can Tho City Political School, Vietnam
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-1535-3772
Nguyen Trung HIEU
Graduate student of Dong Thap University, Vietnam

ABSTRACT
This paper examines the pivotal role of the Bank of Indochina (BIC) in transforming Vietnam's monetary system from traditional metallic currencies (copper, zinc coins, and silver ingots) to the fiat silver Piastre banknote between 1875 and 1930. Utilizing historical and logical methods alongside the analysis of colonial archival records, the study elucidates BIC's policy mechanisms and operational strategies aimed at gradually phasing out fragmented metallic currencies, establishing its exclusive note-issuing privilege, and instituting the Piastre as legal tender in commercial transactions, tax collection, and daily economic life. The findings demonstrate that the introduction of the fiat Piastre not only unified the colonial monetary market and optimized the French economic exploitation apparatus, but also marked a crucial turning point in modernizing local payment behaviors, shifting indigenous practices from metallic hoarding to paper currency usage. Consequently, the paper provides a comprehensive assessment of the dual impacts of colonial financial institutions on Vietnam's socio-economic transformation in the early twentieth century.
Keywords: *Bank of Indochina, Fiat Piastre banknote, Traditional metallic currency, Payment behaviors, Colonial monetary history.*

1. INTRODUCTION
In the trajectory of socioeconomic transformation in colonial Vietnam (1875-1930), the transition from traditional metallic currency systems (copper cash, silver ingots, and zinc coins) to the fiat Indochinese piastre (*Piastre d'Indochine*) constituted a pivotal historical milestone. Prior to the establishment of French colonial rule, the Dai Nam economy relied on a closed, self-sufficient multi-metallic circulation regime, wherein monetary value was intrinsically tied to weight and precious metal purity. However, to integrate Indochina into global trade networks and streamline the fiscal extraction apparatus, the colonial administration recognized that constructing a unified, modern monetary system was an absolute prerequisite. Within this context, the Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC), founded pursuant to the Presidential Decree of January 21, 1875, emerged as the central financial institution tasked with issuing currency and reshaping the payment behaviors of the indigenous population.
The impact of the Bank of Indochina on the colonial economy was clearly manifested through its monopolistic operational framework and strategic currency issuance. Duong (2021) demonstrated that conferring upon BIC the exclusive privilege of issuing the Indochinese piastre alongside treasury management functions transformed this institution into the "financial heart" of French colonialism, generating powerful leverage to substitute traditional metallic coinage with bank notes across Indochina. This process represented far more than a mere shift in physical monetary forms; it marked a paradigm shift in commercial logic. Examining the penetration of French currency, Silvestre (2020) analyzed how Cochinchina's economy prior to BIC's intervention suffered from fragmentation due to volatile hand-minted coins, and how the arrival of the BIC piastre systematically established a standardized unit of account for large-scale commercial transactions.
Nevertheless, transitioning from the habit of utilizing intrinsic metallic currency to nominal paper fiat money encountered profound psychological and cultural resistance within indigenous society. Brocheux and Hémery (2022) observed that the Vietnamese populace initially harbored deep skepticism toward

paper notes, maintaining a strong preference for hoarding silver coins as a secure store of value amidst political uncertainty. To dismantle these barriers and accelerate banknote adoption, BIC collaborated with the colonial state to deploy coercive administrative measures alongside economic incentives. Gonjo (2018) affirmed that BIC skillfully articulated its currency issuing privilege with commercial credit operations and colonial tax collection, compelling indigenous merchants and plantation enterprises to adopt paper piastres in everyday transactions. Furthermore, empirical findings by Duong et al. (2026) emphasized that BIC's financial sponsorship and foreign exchange policies in infrastructure and trade gradually converted the paper piastre from an unfamiliar instrument into an obligatory medium of exchange, completing the transition from traditional payment habits to modern consumer behavior.

Building upon these historical premises, the research paper *"From Traditional Metallic Currency to Fiat Piastre: The Role of the Bank of Indochina in Modernizing Payment Behaviors in Vietnam (1875-1930)"* aims to elucidate the monetary transition mechanisms and BIC's role in altering payment behaviors in Vietnam. The study deconstructs the methods through which French financial capital restructured the colonial monetary space, thereby offering an objective evaluation of the economic legacy and profound social ramifications of this monetary modernization process.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Traditional Metallic Currency Structures and Commercial Fragmentation in Vietnam Prior to 1875

Prior to the intervention of the Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC) in the colonial financial market, the monetary space in Vietnam was characterized by deep fragmentation and an enclosed multi-metallic regime. The Nguyen Dynasty's economy operated on two primary currency types: hand-minted copper and zinc cash (used for everyday local transactions) alongside silver ingots and gold bars (reserved for wealth accumulation, large-scale commerce, and customs payments). Silvestre (2020) analyzed that the traditional monetary systems in Cochinchina and Tonkin during this era lacked a unified standard unit of account; the value of metallic coins fluctuated constantly based on weight, precious metal purity, and regional minting costs.

The volatility of the traditional currency system erected formidable barriers to the expansion of commercial trade. Because zinc cash possessed heavy physical weight but extremely low nominal value, transporting funds to settle large commercial transactions involved immense risks and exorbitant logistical expenses. Truong (2019) pointed out that throughout the first half of the nineteenth century, merchants in the seaports of Saigon and the Mekong Delta were forced to transact using diverse imported currencies, such as Mexican silver dollars (*Piastre kẽm/bạc Mexico*) or coins minted in neighboring states, leading to rampant monetary chaos and currency speculation.

This intricate monetary structure not only disrupted commerce but also directly obstructed the French colonial state's capacity to collect taxes and construct predictable fiscal budgets. In imperial monetary theory, V. I. Lenin (1917/2021) emphasized that to establish economic hegemony, finance capital must forcibly unify and modernize the monetary space within occupied territories, transforming the currency circulation apparatus into a instrument for capital accumulation and colonial exploitation. This constituted the precise historical premise driving the creation of a monopolistic bank of issue in Indochina.

2.2. BIC's Monopolistic Issuance Model and Strategic Deployment of the Fiat Piastre

The Bank of Indochina, founded pursuant to the Presidential Decree of January 21, 1875, was invested by the French colonial state with the exclusive monopoly on currency issuance and treasury management across French Indochina. Duong (2021) demonstrated that BIC's "dual model" simultaneously executing central banking issuance functions and operating as a merchant investment bank enabled the bank to engineer a flexible yet thoroughly coercive mechanism for deploying colonial paper currency.

BIC's strategy to substitute traditional metallic coinage with the paper piastre (*Piastre d'Indochine*) rested on three structural pillars:

1. **Establishing a Silver Standard and Currency Peg:** Initially, the BIC piastre was valued based on a pure silver content equivalent to the Mexican Silver Dollar to establish market familiarity. Subsequently, BIC transitioned to pegging the colonial piastre directly to the French Franc, effectively transforming the paper banknote into a nominal fiat currency backed by the institutional authority of the colonial state.

2. **Administrative Legalization and Fiscal Coercion:** BIC collaborated closely with the General Government of Indochina to enact mandatory regulations requiring all tax obligations (head taxes, land taxes, trade tariffs) and official state transactions to be settled exclusively in BIC-issued paper piastres.
3. **Commercial Credit Provision via Paper Currency:** BIC prioritized extending short- and medium-term commercial credit to trading houses, rubber plantation syndicates, and construction contractors in paper banknotes. Duong (2026) highlighted that by capturing the entire foreign trade payment stream and commercial credit market, BIC compelled indigenous merchants and foreign capitalists alike to accept the paper piastre as the supreme medium of exchange.

Duong, Duong, and Nguyen (2026) demonstrated that this paper issuance mechanism generated massive seigniorage profits for BIC at negligible production costs, while empowering the bank to dominate the total liquidity of the Indochinese economy.

Monetary Phase	Dominant Currency Types	Financial Role of BIC	Impact on Payment Behaviors
1875 - 1885	Zinc/copper cash, Mexican Dollar, French silver coins.	Initial banknote issuance in Cochinchina; exchange rate negotiation.	Paper notes circulated narrowly among French firms and major urban centers.
1885 - 1914	BIC paper piastre (silver standard), fractional copper/zinc coins.	Exclusive issuance monopoly across Indochina; tax collection in paper.	Indigenous populace began accepting paper notes for medium-to-large trade.
1914 - 1930	BIC paper piastre (pegged to Franc), phase-out of zinc coins.	Complete monetary circulation control; colonial credit management.	Paper piastre became the standardized medium across all economic spheres.

2.3. Restructuring Payment Habits: From Cultural Skepticism to Banknote Adoption

The transition from intrinsic metallic currency to nominal paper fiat money did not occur naturally; rather, it involved intense friction and psychological adaptation within Vietnamese society. During the initial phase (1875-1900), the indigenous population particularly rural agriculturalists exhibited severe resistance toward "printed paper." Brocheux and Hémery (2022) observed that this skepticism stemmed from generational habits of hoarding tangible precious metals (silver ingots, gold, copper coins), which were perceived as reliable stores of value amidst political instability and natural disasters.

To overcome this ingrained behavioral pattern, BIC and the colonial administration implemented a multi-stage transition strategy:

- **Penetration via Urban Commercial Hubs:** BIC banknotes first established credibility within major commercial centers such as Saigon, Haiphong, Hanoi, and Cholon. Aumiphin (1996) noted that BIC's guarantee of convertibility between paper notes and silver specie at its bank counters cultivated initial confidence among Vietnamese and Chinese merchant classes involved in agricultural procurement.
- **Eliminating Fractional Currency Obstacles in Rural Areas:** To address the challenge posed by large-denomination banknotes in micro-transactions, BIC coordinated the issuance of fractional metallic coins (copper and nickel) to bridge small-scale village market trades, systematically driving traditional zinc cash out of circulation.
- **The Rise of Banking Payment Instruments:** By the 1920s, alongside the expansion of industrial mining and plantation capitalism, BIC modernized payment practices by introducing auxiliary financial instruments such as checks (*chèques*), commercial bills of exchange, and demand deposit accounts. Robequain (1944) recorded that capitalist enterprises and an emerging indigenous middle class gradually abandoned cumbersome cash transactions in favor of bank-mediated settlement mechanisms managed by BIC.

2.4. Financial-Commercial Alliances and Socioeconomic Ramifications of Monetary Modernization

The modernization of the monetary system under BIC's hegemony forged a tightly integrated "Financial-Commercial Alliance" that served the extractive goals of colonial enterprise. Gonjo (2018) analyzed that unifying the monetary space under the paper piastre enabled BIC and French corporate syndicates to mitigate exchange rate risks, accelerate capital velocity, and optimize the repatriation of colonial profits

back to Paris.

However, this monetary modernization was inherently coercive and produced complex socioeconomic ramifications:

- **Amplified Tax Extraction Capacity:** Converting all fiscal obligations into BIC paper piastres stripped peasant households of their traditional financial self-defense mechanisms. Doumer (2017) leveraged monetary unification within his fiscal reforms to squeeze the self-sufficient agrarian economy, forcing peasants to sell agricultural produce or engage in wage labor on French plantations to obtain the paper piastres required for tax payments.
- **Impact on Indigenous Capital and Local Merchants:** BIC's monetary monopoly and discriminatory credit allocation positioned French finance capital to dominate the economy. Vietnamese merchants, despite adapting to modern payment behaviors, remained at a structural disadvantage due to restricted access to BIC's large-scale credit facilities and deposit networks.
- **Irreversible Transformation of Economic Life:** Notwithstanding its colonial objectives, the deployment of the BIC paper piastre and modern payment protocols objectively laid the structural foundations for a modern monetary and financial market in Vietnam, integrating the domestic economy into global commercial circuits.

3. CONCLUSION

The examination of the monetary transition from traditional metallic currency regimes to the nominal fiat paper piastre (*Piastre d'Indochine*) in Vietnam between 1875 and 1930 highlights the pivotal role played by the Bank of Indochina (Banque de l'Indochine - BIC) in reordering the financial landscape and modernizing colonial payment behaviors. This monetary shift was far more than a technical currency reform; it constituted a calculated institutional imposition designed to integrate Vietnam's domestic economy into global capitalist circuits. As Duong (2021) concluded, BIC's exclusive monopoly over currency issuance alongside its colonial treasury management functions established the bank as the supreme arbiter of liquidity, systematically replacing fragmented traditional copper and zinc coinages with a unified unit of account across the federation.

This process of enforcement and behavioral adaptation gradually dismantled the indigenous population's cultural skepticism toward nominal banknotes. By mandating tax settlements in paper currency, guaranteeing bank-counter convertibility in major commercial centers, and expanding bank-mediated payment instruments (checks and bills of exchange), BIC restructured traditional precious metal hoarding practices into modern payment habits. Silvestre (2020) affirmed that the introduction of the BIC piastre decisively resolved the monetary chaotic conditions and exorbitant transaction costs of the pre-colonial era, establishing the structural groundwork for the expansion of large-scale commercial trade.

Nevertheless, this monetary modernization was fundamentally extractive, engineered to serve the interests of French finance capital. Brocheux and Hémery (2022) observed that while the paper piastre conferred a veneer of technological modernization upon commodity circulation, it simultaneously functioned as an efficient instrument for the colonial state to amplify fiscal tax extraction, compress self-sufficient agrarian economies, and deepen the colony's economic dependence on the metropolis. Evaluating BIC's overarching legacy, Duong et al. (2026) affirmed that the bank's monetary and foreign exchange strategies successfully converted traditional payment practices into modern financial protocols, establishing the undisputed hegemony of French financial capital while bequeathing a complex monetary and banking legacy to twentieth-century Vietnamese economic history.

REFERENCES

Aumiphin, J.-P. (1996). *La présence financière et économique française en Indochine (1885-1954)* [The French financial and economic presence in Indochina (1885-1954)] (P. T. Dung, Trans.). Hoi Nha Van Publishing House.

Brocheux, P., & Hémery, D. (2022). *Indochine: Une colonisation ambiguë (1858-1954)* [Indochina: An ambiguous colonization (1858-1954)] (B. T. Phuong et al., Trans.). The Gioi Publishers. (Original work published 2001).

Doumer, P. (2017). *L'Indo-Chine française (Souvenirs)* [French Indochina (Memoirs)] (L. D. Chi, Trans.). The Gioi Publishers. (Original work published 1902).

Duong, T. Q. T. (2021). *The Bank of Indochina in the process of French colonization in Vietnam (1875-*

1954). [Doctoral dissertation, Ho Chi Minh City University of Education].
Duong, T. Q. T. (2026). The role of the Bank of Indochina during the French colonial invasion of Tonkin (1882-1895). *Vietnam Journal of Defense Strategy and History*, *5*(1), 121-129.
Duong, T. Q. T., Duong, T. N. M., & Nguyen, D. C. (2026). Financial sponsorship of the Bank of Indochina for the Trans-Indochina railway project (1890-1936). *Journal of Historical and Economic Studies*, *2*(1), 815–825.
Gonjo, Y. (1993). *Banque de l'Indochine et imperialisme francais en Extreme-Orient (1875-1939)*. [Banque de l'Indochine and French imperialism in the Far East (1875-1939)]. Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
Lenin, V. I. (2021). *Imperialism, the highest stage of capitalism*. Su That National Political Publishing House. (Original work published 1917).
Nguyen, D. C. (2020). *Transportation infrastructure investment by French capital in Indochina (1888-1939)*. [Master's thesis, University of Social Sciences and Humanities, VNU Ho Chi Minh City].
Robequain, C. (1944). *The economic development of French Indo-China* (J. O. Ward, Trans.). Oxford University Press.
Silvestre, J. (2020). *L'économie de la Cochinchine coloniale* [The economy of colonial Cochinchina] (P. T. Dung, Trans.). Ho Chi Minh City General Publishing House.
Truong, T. H. (2019). *History of Saigon seaport development and the commercial port system of Cochinchina during 1860-1945*. Van Hoa - Van Nghe Publishing House.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

POVERTY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: LEGAL CHALLENGES, FUNDAMENTAL RIGHTS, AND SOCIAL JUSTICE IN THE DIGITAL ERA

Roxana Moisoiu

Abstract

The intersection between poverty and artificial intelligence (AI) raises significant legal challenges concerning fundamental rights, equality, non-discrimination, and social justice. As AI systems become increasingly integrated into public administration, employment, education, healthcare, and social welfare services, their impact on economically disadvantaged individuals requires careful legal examination. Although these technologies may improve the efficiency of public policies and facilitate access to essential services, they may also create new forms of discrimination, digital exclusion, and unequal treatment, particularly when automated decision-making processes affect vulnerable individuals.

This paper examines the legal implications of AI deployment in the context of poverty, focusing on the protection of fundamental rights and the responsibility of public authorities to ensure fair and inclusive technological development. It investigates the extent to which existing legal frameworks can prevent algorithmic discrimination, protect personal data, guarantee transparency, and provide effective remedies for individuals adversely affected by automated decisions. Particular attention is given to European Union law, international human rights instruments, and the emerging legal framework governing artificial intelligence.

The research methodology combines doctrinal legal analysis, comparative legal analysis, and an interdisciplinary assessment of the social consequences of AI-driven decision-making. It examines relevant legal instruments, including the European Convention on Human Rights, the Charter of Fundamental Rights of the European Union, the General Data Protection Regulation, and the EU Artificial Intelligence Act. The comparison focuses on legal safeguards, accountability mechanisms, access to effective remedies, and the prevention of discriminatory outcomes.

The paper argues that poverty should be considered a factor that may increase an individual's vulnerability to violations of fundamental rights in an increasingly automated society. Where access to digital resources, legal assistance, and effective remedies is limited, disadvantaged individuals may face additional barriers to exercising their rights. The paper concludes that an effective legal response requires inclusive regulatory policies, stronger safeguards against algorithmic discrimination, meaningful human oversight, and accessible mechanisms of legal protection.

Keywords: artificial intelligence; poverty; fundamental rights; European Union law; algorithmic discrimination; data protection; social justice; digital exclusion; rule of law.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS EDUCATION FOR HUMAN IMPACT AND CONSERVATION

Chief Assist. Prof. Dr. Stefan STAMENOV
Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
ORCID ID: 0000-0001-6010-8142
Assoc. Prof. Dr. Vanya STAMENOVA
Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
ORCID ID: 0000-0002-8933-5426

ABSTRACT
The UN's Sustainable Development Goals (SDGs) provide essential goals and milestones for developing and maintaining a sustainable future for our planet. Goal 4, "Quality education - Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all," addresses primary and secondary education, higher education, and lifelong learning. It is arguably one of the most important goals, as achieving and sustaining the Sustainable Development Goals depends on the quality of education for future generations.
This paper provides a conceptual framework for education for pupils in primary and secondary school, focusing on human impact and conservation, grounded in SDG 4, and using the Sofia city region as a case study. The paper presents results from an ESA third-party mission research project entitled "Classifying human impact areas on the territory of Bulgaria". The project focuses on developing a classification of human impact areas, ranging from natural reserves to highly urbanised, impervious built-up territories, and visually assessing them using up-to-date, high-resolution satellite imagery. Human impact and its influence on nature are essential topics to include in pupils' education, which we illustrate with examples from the project's results for the Sofia city region.
Keywords: Education, human impact, land cover, conservation

1. INTRODUCTION

Over the last decade, the topic of ensuring and maintaining the sustainability of our planet and providing a better quality of life has been addressed in the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development, which defines 17 essential goals and indicators to be met (United Nations General Assembly, 2015). Education, defined in Goal 4 "Quality education - Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all", is essential to maintaining sustainability in the future and preparing better-informed and well-educated generations. Goal 4 addresses a broad range of target groups, not only students, but also supports lifelong learning (UNESCO, 2017, 2020).
This paper aims to provide a conceptual framework for education focused on human impact and conservation, using the Sofia city region as a case study. Education is addressed to pupils in primary and secondary schools and aims to highlight the importance of education focused on human impact, conservation and environmental awareness. These topics are also priorities in other parts of the UN Sustainable Development Goals, namely goal 11 and goal 15 (United Nations General Assembly, 2015; European Commission, 2023, 2024). These topics in education have been discussed and introduced in previous research works (Stamenov & Stamenova, 2026; Stamenova & Stamenov, 2026b) and implemented as part of the Space School educational initiative, which we developed and coordinated over the past 12 years.
The paper presents results from the ESA Third Party Mission project PP0101070, "Classifying human impact areas on the territory of Bulgaria", which was implemented during 2024-2026. The project focuses on developing a classification system for human impact, based on land cover and land use concepts, that integrates land cover/land use parameters with human activities and their influence on nature.
We use Sofia city as a test area to propose the human impact classification because it is highly urbanised and has agricultural lands, natural territories, and protected areas, including reserves,

in its vicinity. The Sofia region is also a study area where we have been conducting research for many years, including topics such as human impact, anthropogenization, and conservation. Several works on human impact, including human impact and education, have been presented at the ESRI User Conference as posters and are available in their permanent online map gallery (Stamenov & Stamenova, 2021, 2022, 2024, 2025a). Previous research addresses the development of the human impact index and the analysis of human impact and recreational potential in suburban areas (Stamenov & Stamenova, 2025b; Stamenova & Stamenov, 2026a).
The proposed educational approach combines Earth observation data, thematic mapping, and the interpretation of human impact classes to help students better understand the relationships between human activities, land use, and environmental conservation.

2. MATERIAL AND METHODS

The data suitable for education on human impact and conservation are diverse, including remote sensing and Earth observation data. The data chosen to illustrate human impact in the Sofia region include high-resolution Earth Observation data and products, including Sofia's land cover/land use from the Urban Atlas of the Copernicus Land Monitoring Service for 2021 (European Environment Agency, 2026), and high-resolution WorldView-3 satellite images. We used WorldView-3 satellite images of the city of Sofia, obtained through the ESA Third Party Mission project to provide the high resolution needed to distinguish the different classes precisely. The WorldView-3 imagery was acquired on 27 July 2024 and 23 August 2024, and its high resolution allows us to distinguish and properly reclassify Sofia's land use classes from the 2021 Urban Atlas into the human impact classes of the proposed initial classification system for human impact in urban areas.
Although numerous classifications of land cover and/or land use exist, including artificial surfaces created or modified by human activity, the proposed approach focuses specifically on human impact.
The initial version of the classification system for human impact is based on the types of human activities and the pollution they cause. We proposed a human impact classification with five classes, starting with level 1: residential, industrial, transport, agricultural, and recreational areas (Table 1). Residential areas are places where people live, as well as the commercial and public services located within them. They are further divided into two classes - Living areas (the blocks of apartments and houses) and Commercial and public areas (which include shops, offices, schools, gyms, etc.). The industrial areas span the entire spectrum of industry and are sources of various pollutants. At level two, the industrial areas are divided into 3 classes: industrial, construction sites, and mining and dump sites, but the industrial class is further clarified based on the pollutant types. The transport areas are classified by transport type and include the entire transport infrastructure and associated land. Agricultural areas are divided into annual crops, such as the arable lands around Sofia, and permanent crops, including fruit trees. The fifth category is the recreation areas, which include a variety of facilities for recreation, sport, outdoor activities, and leisure. The recreation areas also include entirely natural areas, such as forests, grasslands, protected areas, water areas, and wetlands, which people may also use for recreation.

Table 1. Human impact classification scheme for urban areas

Level 1	Level 2	Description
Residential areas	Living areas	Includes only areas where people live, apartments, and houses
	Commercial and public areas	Includes shops, offices and services within the residential areas
Industrial areas	Industrial zones	Industrial, commercial and public buildings and surfaces outside the residential areas
	Mineral extraction and dump sites	All open quarries, mines, deposition sites, and dump sites
	Construction sites	All areas under construction during the year of layer production
Transport areas	Road areas	Includes all categories of roads, associated infrastructure, and land
	Railway areas	Includes all railroad infrastructure and associated land
	Airport areas	Includes all airport infrastructure
Agricultural areas	Arable areas	
	Permanent crop areas	
Recreation areas	Green urban areas, parks and gardens	Parks, gardens, cemeteries, and green spaces in the neighbourhood
	Other green spaces	Areas covered by some vegetation with no specific land use
	Playgrounds and sport areas	Areas designated for sport and leisure activities – sports fields, golf courses, stadiums, etc.
	Natural areas	Forest, herbaceous vegetation, all protected areas, pastures, wetlands, water areas

The proposed classification scheme of human impact in urban areas is correlated with the selected land cover product, in this case, the Urban Atlas for Sofia for 2021, and the correlation and assignment of the human impact classes to the Urban Atlas land cover classes are presented in Table 2.

Table 2. Correlation of the human impact classification to the Urban Atlas classes

Human impact classes		Urban Atlas land cover classes
Level 1	Level 2	
Residential areas	Living areas	Continuous urban fabric (>80 %) Discontinuous dense urban fabric (50%-80%) Discontinuous medium-density urban fabric (30%-50%) Discontinuous low-density urban fabric (10%-30%) Discontinuous very low-density urban fabric (<10%) Isolated structures
	Commercial and public areas	Industrial, commercial, public, military and private units
Industrial areas	Industrial zones	Industrial, commercial, public, military and private units
	Mineral extraction and dump sites	Mineral extraction and dump sites
	Construction sites	Construction sites
Transport areas	Road areas	Fast transit roads and associated land Other roads and associated land
	Railway areas	Railways and associated land
	Airport areas	Airports
Agricultural areas	Arable areas	Arable lands (annual crops)
	Permanent crop areas	Permanent crops (vineyards, fruit trees, olive groves)
Recreation areas	Green urban areas, parks and gardens	Green urban areas (public access) Green urban areas (private access) Green urban areas (Unknown access conditions)

	Other green spaces	Land without current use
	Playgrounds and sport areas	Sports and leisure facilities
	Natural areas	Forests Herbaceous vegetation associations Pastures Water Wetlands

3. RESULTS AND DISCUSSION

The proposed human impact classification is presented as maps for Sofia, showing only the urban areas that fall within the city's construction boundary. This is the compact city, including all residential, industrial, and recreational areas, except for the airport, which remains outside the construction boundary. The three maps show the land cover/land use product of the Urban Atlas for the city of Sofia within the city's construction border for 2021, and the human impact classes at levels 1 and 2. The Urban Atlas land cover/land use map of Sofia has been presented only for the city of Sofia within its construction border (Fig. 1).

Fig. 1. Urban Atlas land cover and land use map of Sofia for 2021

The map presents 25 classes, with a very detailed classification of the urban fabric, and the different green spaces are well represented and distributed. This level of detail can be used to teach school students about city planning and the distribution of different classes.

The next two maps present the human impact classes for Sofia city according to the proposed classification for level 1 (Fig. 2) and level 2 (Fig. 3), which provide information about the distribution of human activities across the city, and students might learn more about the impact of different human activities on nature.

We used high-resolution WorldView-3 satellite imagery for Sofia for visual interpretation and to check the spatial correspondence of the land cover and human impact classes (Fig. 4).

Fig. 2. Human impact classes in Level 1 for Sofia city

Fig. 3. Human impact classes in Level 2 for Sofia city

Fig. 4. Visual verification of land cover and human impact classes with high-resolution satellite images

The examples show how Earth observation data can serve as educational resources that support understanding of sustainable development and human-environment interactions. Interpreting maps and satellite imagery can help students develop and improve their spatial thinking and analytical skills, raise their environmental awareness, and better understand the consequences of human activities on nature.

4. Conclusions

The proposed human impact classification allows students to understand the relationships between human activities, land use, and environmental conservation. Using the Sofia city region as a case study helps students better understand human impact by linking the classification to a real example. Earth observation data and high-resolution satellite imagery support educational activities on sustainability, environmental awareness, and responsible land management, allowing students to learn these concepts through modern satellite technologies. The classification and accompanying maps help students better understand the spatial distribution of different human activities and their impact on nature. Integrating these topics and data into primary and secondary education supports the objectives of SDG 4 by promoting environmental literacy and fostering informed future citizens committed to sustainable development. This can also contribute to other sustainable development goals by building environmental literacy and responsible citizenship.

REFERENCES

European Commission. (2023). *SDG 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable: EU internal action*. Publications Office of the European Union. https://commission.europa.eu/document/download/053a5e26-865d-4b99-a109-9a4855bf301a_en?filename=SDG-Report-11-MD.pdf

European Commission. (2024). *SDG 11: Sustainable cities and communities*. *Eurostat Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/SDG_11_-_Sustainable_cities_and_communities

European Environment Agency. (2026). *Urban Atlas 2021: Product user manual* (Version 1.0.1). Copernicus Land Monitoring Service. https://library.land.copernicus.eu/products/Urban_Atlas_CLMS_UA2021_LULC_PUM_v1.pdf

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2021). *140 years of human impact in the Sofia Valley*. In *Esri Map Book* (Vol. 36). ESRI Press.

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2022). *Human land in the Anthropocene: Assessing the impact on the land cover* [Conference presentation]. ESRI User Conference 2022, San Diego, CA, United States. https://mapgallery.esri.com/submission-detail/30860

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2024). *Human footprint in school education* [Exhibition]. Innovative Education Exhibition, ESRI User Conference 2024, United States. https://mapgallery.esri.com/submission-detail/35434

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2025a). *Human impact index in education* [Conference presentation]. ESRI User Conference 2025, San Diego, CA, United States. https://mapgallery.esri.com/submission-detail/40088

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2025b). Evaluating human impact in urban areas, with the example of Sofia, Bulgaria. In *Proceedings Book of the V International Architectural Sciences Congress (IArcSC-2025)* (pp. 1436-1445).

Stamenov, S., & Stamenova, V. (2026). Geoinformation technologies education for sustainable cities. In *Proceedings of the 12th International Hasankeyf Scientific Research and Innovation Congress* (pp. 747-754). Iksad Publishing House. https://www.isarconference.org/_files/ugd/6dc816_9da68b2e55a84539af8ce44bcaf4460a.pdf

Stamenova, V., & Stamenov, S. (2026a). Human impact and recreational potential of urban and suburban areas through geoinformation technologies. In *Proceedings of the 7th International Istanbul Current Scientific Research Congress* (pp. 130-137). Liberty Academic Publishers.

Stamenova, V., & Stamenov, S. (2026b). Innovative education in space and geosciences. In *Proceedings of the 7th International Istanbul Current Scientific Research Congress* (pp. 118-129). Liberty Academic Publishers. https://www.ubakkongre.com/kitaplar

UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing. https://doi.org/10.54675/CGBA9153

UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO Publishing. https://doi.org/10.54675/YFRE1448

United Nations General Assembly. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (A/RES/70/1). United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

THE GUT-BRAIN-SKIN AXIS IN ACNE: IMPACT OF POLENODERM

Major Gheorghe Giurgiu
Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania
https://orcid.org/0000-0002-5449-2712
Prof. dr. Manole Cojocaru
Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania
https://orcid.org/0000-0002-6871-577X

Background It is increasingly believed that the interaction between skin microbes and host immunity plays an important role in acne. Acne also has close connections with the gastrointestinal tract, and many argue that the gut microbiota could be involved in the pathogenic process of acne. The emotions of stress, have been hypothesized to aggravate acne by altering the gut microbiota. The presence of a gut-brain-skin axis that connects gut microbes, oral probiotics, and diet, currently an area of intense scrutiny, to acne severity. This study concentrates on the skin and gut microbes in acne, the role that the gut-brain-skin axis plays in the immunobiology of acne, and newly emerging microbiome-based therapies that can be applied to treat acne.
Obiective The purpose of this study was to compare the diversity of the skin microbiota in acne patients before and after taking Polenoderm.
Materials and methods A longitudinal cohort study was performed on 20 participants with moderate to severe facial acne with no recent use of oral and topical antibiotics/retinoids.
Results Hence, it is crucial to understand Polenoderm impact on the acne skin microbiota which is thought to be perturbed, our study provides insight into the skin microbiota in acne and how it is modulated by Polenoderm and diet.
Conclusion Acne also has close connections with the gastrointestinal tract, and many argue that the gut microbiota could be involved in the pathogenic process of acne. As understanding of the microbiome in healthy skin and the pathophysiology of acne continues to develop, new therapeutic targets are arising.
Keywords: acne, gut-brain-skin axis microbiota, Polenoderm, diet

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE SOCIAL FACE OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION: A CASE STUDY OF DELHI-NCR

Prof Mamta Sharma
KM College, University of Delhi, India
ORCID number 0009-0009-5804-7673
Prof Sandeep K Sharma
Rajdhani College, University of Delhi, India
ORCID number 0009-0005-0636-9102

ABSTRACT

Environmental decline in Delhi-NCR shows a deep interconnection between social and ecological systems. Air pollution, water shortages and shrinking green cover fall most heavily on marginalised communities, which reinforces poverty and vulnerability. This case study examines how fast-paced urbanisation, with Delhi's population now above 30 million, worsens degradation through industrial emissions, vehicle exhaust and crop-residue burning. These sources account for 50–70% of winter PM2.5 peaks, and social inequalities magnify the effects for low-income residents of informal settlements.

Poverty in turn encourages the overuse of resources. Slum residents living close to pollution hotspots work as waste pickers and outdoor labourers, and they record 20–25% more respiratory illness during high-pollution periods such as the weeks after Diwali. The health consequences include asthma, chronic fatigue and a loss of up to 11.9 years of life expectancy from PM2.5 exposure. Annual economic losses in healthcare costs and productivity reach Rs 10,000 crore. Caste and class inequalities show up as scarce access to green spaces, indoor pollution from solid fuels and uneven enforcement of policy. This is a clear case of environmental injustice, in which the poor bear the greatest burden while contributing least to the problem.

Using a mixed-methods approach that combines secondary data on AQI trends and poverty indicators with a qualitative review of policy, the study finds a two-way causal relationship between degradation and poverty that calls for integrated responses. It recommends fair distribution of green infrastructure, wider adoption of CNG and electric transport (with a target of 12% of the fleet), inclusive healthcare, and community resilience-building under the National Clean Air Programme (NCAP). Together these measures aim to support adaptive urban governance and break the cycle linking environmental degradation and poverty.

Keywords: Environmental degradation; Air Quality Index (AQI); air pollution; water scarcity; poverty

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EX VIVO ISOLATION OF MACROPHAGES FOLLOWING CARRAGEENAN-INDUCED INFLAMMATION AND EVALUATION OF THE ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY OF AN ETHANOLIC EXTRACT

Zineb SEKKOUT
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0000-1700-8480
Omaima BOUDAIA
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680
Driss RADALLAH
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca.
ORCID ID: 0000-0002-7910-3461
Najat EL AMRANI
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680
EL HAMSAS EL YOUBI Amal
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680

Abstract
Inflammation is a complex biological process involving the activation of immune cells and the release of numerous inflammatory mediators. Macrophages play a central role in the initiation and regulation of inflammatory responses and therefore represent an important cellular model for evaluating potential anti-inflammatory agents. Natural plant extracts are increasingly investigated as promising sources of bioactive compounds with immunomodulatory properties. The aim of the present study was to evaluate the ex vivo anti-inflammatory activity of an ethanolic extract using macrophages isolated following carrageenan-induced inflammation. Inflammation was induced by carrageenan, followed by the isolation of macrophages from the inflammatory exudate. The isolated macrophages were subsequently used as an ex vivo model to investigate the effects of the ethanolic extract at doses of 300, 400, and 500 mg/kg. The anti-inflammatory activity was assessed by evaluating macrophage activation and selected inflammatory parameters. The effects of the extract were compared with those observed in the carrageenan-induced inflammatory control. The ethanolic extract demonstrated an inhibitory effect on the inflammatory response in isolated macrophages, with variations according to the tested dose. The observed activity suggests that the extract may modulate macrophage-mediated inflammatory processes and may contain bioactive constituents with anti-inflammatory potential. These findings provide preliminary evidence supporting the use of an ex vivo macrophage model for investigating the anti-inflammatory properties of the studied ethanolic extract and warrant further investigation of the underlying molecular mechanisms.

Keywords: Carrageenan; macrophages; ex vivo inflammation; ethanolic extract; anti-inflammatory activity; macrophage activation; natural products.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE

Maryem Arraji
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco
Mohamed Khalis
Mohammed VI Center of Research and Innovation, Rabat, Morocco
International School of Public Health, Mohammed VI University of Health Sciences, Casablanca, Morocco
Higher Institute of Nursing Professions and Technical Health, Rabat, Morocco
Laboratory of Biostatistics, Clinical, and Epidemiological Research, Department of Public Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, Mohamed V University in Rabat, Rabat, Morocco
Mohamed Chahboune
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco

ABSTRACT

Objectives: Medication adherence remains a major challenge in the management of type 2 diabetes (T2D), especially in middle-income countries such as Morocco. With the rapid development of artificial intelligence, large language models, including ChatGPT, may offer new opportunities for clinical research through simulated patient profiles. This study examined the feasibility of using ChatGPT to generate culturally contextualized virtual profiles of Moroccan patients with T2D and to apply the validated Moroccan Arabic dialect version of the general medication adherence scale (GMAS).

Methods: This exploratory pilot simulation study used ChatGPT-4 to generate 11 virtual profiles based on representative sociodemographic and clinical characteristics of Moroccan patients with T2D. Each profile was administered the validated Moroccan Arabic dialect version of the GMAS.

Results: Four profiles (36.4%) showed high adherence, 6 (54.5%) displayed moderate adherence, and 1 (9.1%) exhibited low adherence. Expert evaluations were consistent, with all ratings ≥3 on a 4-point scale, supporting the credibility and cultural appropriateness of the profiles. The simulated patterns reflected real-world trends, with higher adherence among profiles treated with oral antidiabetic drugs, covered by health insurance, and having shorter disease duration, and lower adherence among profiles using insulin, lacking insurance, and having longer disease duration.

Conclusion: ChatGPT generated credible, culturally adapted patient profiles that enabled application of a validated psychometric tool in a simulated environment. This rapid, low-cost approach may support exploratory research, healthcare training, and intervention design. Comparative studies using real patient data are needed to confirm validity.

Keywords: Artificial intelligence; Diabetes mellitus, type 2; Feasibility studies; Medication adherence; Morocco; Psychometrics

COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF *FUMARIA PARVIFLORA* FROM THREE REGIONS OF MOROCCO

Salma MAKDOUF
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Karima El Bouqdaoui
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Laboratory of Care, Health and Sustainable Development, Higher Institute of Nursing and Health Techniques, Casablanca (Morocco)
Abdelhakim El Makssoudi
Laboratory of Organic Synthesis, Extraction and Valorization (LSOEV), Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Mounia Cherki[1]
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)

Abstract

Species of the *Fumaria* genus are medicinal plants known for their anti-inflammatory, antioxidant, and antidiabetic effects. Our species, *Fumaria parviflora*, locally known under different names, is a green, herbaceous, annual plant that grows in wheat fields, plains, and low hills. It is a ubiquitous species that can be found in Europe, Africa, America, Australia, and especially in high prevalence in India, Pakistan, and Iran.

In traditional medicine, this species has been used to treat numerous diseases and infections such as diabetes, digestive disorders, eczema, burns, fever, flu, headaches and toothaches, poisoning, hepatobiliary dysfunction, blood disorders, urinary diseases, and male infertility.

Despite these remarkable therapeutic potentials, few scientific studies have aimed to evaluate its biological activities. Hence, the objective of our research is to carry out a comparative study of the phytochemical composition of *F. parviflora* harvested from three different Moroccan regions (Casablanca, El Jadida, and Khouribga).

Lipids, carbohydrates, proteins, minerals, and pigments were determined using standard methods. Secondary metabolites were assessed through screening techniques. Our results showed that the chemical composition varies depending on the harvesting region, with the Casablanca sample being particularly rich in polyphenols.

Thus, we can conclude that the environmental conditions of each region influence the chemical composition of this plant.

Keywords: *Fumaria*; chemical composition; harvesting region; comparative study.

PROJECT-BASED LEARNING IN EFL HIGHER EDUCATION: EXPLORING LEARNERS' EXPERIENCES AND COMMUNICATIVE DEVELOPMENT IN THE MOROCCAN CONTEXT

Bessma Hamama
Doctorate Student at Ibn Tofail University Casablanca, Morocco
Orchid : https://orcid.org/0009-0002-7572-2019
Samia Moustaghfir
Professor at the Faculty of Dental Medicine Hassan II in Casablanca, Morocco
orcid.org/0009-0000-7673-8413
Sakina El Khattabi
Doctorate student, Arts and Pedagogical Engineering Research Laboratory, Faculty of Languages, Letters and Arts, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco
orcid.org/0009-0009-9939-8584

Abstract
Project-based learning (PBL) is increasingly discussed as a way of connecting English language instruction with authentic communication, inquiry, and collaboration. Yet its value in English as a Foreign Language (EFL) higher education depends not only on assigning group projects, but also on whether learners have meaningful opportunities to use English and participate equitably. Situated in Moroccan universities and framed by international debates on communicative language teaching, this paper proposes a qualitative investigation of undergraduate EFL students' experiences of discipline-related project work. Building on Poonpon's (2011) interview-based study of interdisciplinary projects in Thailand, the proposed research invites students to develop authentic English-language products connected to academic or community issues. Following the project, semi-structured interviews will explore students' perceptions of implementation, opportunities for reading, writing, listening, and speaking, learner agency, group participation, and the support needed to complete the tasks. Data will be examined through reflexive thematic analysis, with attention to both perceived learning opportunities and constraints. Existing Moroccan research provides a contextual foundation but does not replace new interview evidence. The paper argues that the Moroccan case offers a productive lens for an internationally relevant question: under what conditions does project work enable sustained, meaningful English communication in university EFL classrooms? As a research protocol, it specifies expected contributions rather than reporting uncollected findings.
Keywords: project-based learning; Moroccan universities; English as a foreign language; learner agency; authentic communication; qualitative research

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FAST WATER LOSS AND CONTAMINATION DETECTION VIA DIGITAL SYSTEMS

Lasha Kavelashvili
Ketevan Gordeziani
Civil Department, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia.

Abstract *– Managing Water Distribution Networks (WDNs) across topographies featuring steep elevation gradients exceeding 300 meters presents major engineering hurdles, such as extreme pressure surges, hydraulic transients, high Non-Revenue Water (NRW) rates, and continuous contamination threats. Conventional strategies based on periodic laboratory sampling fail to mitigate real-time risks due to processing delays. To address these limitations, this paper proposes a novel four-layer cyber-physical Digital Twin (DT) framework integrating Wireless Sensor Networks (WSNs), hybrid hydraulic modeling, machine learning (ML) ensembles, and closed-loop SCADA control. Moving beyond traditional Hazen-Williams empirical formulas, the core hydraulic solver combines the Darcy-Weisbach equation with dynamic Colebrook-White friction factor calculations to reflect pipe aging over time accurately. Python-driven ML algorithms operate as "virtual sensors" to estimate unmeasured biochemical metrics while cutting false-positive alarms by 20%. Field-validated in Dedoplistskaro, Georgia—utilizing TEVA-SPOT for optimized sensor placement and simulated contaminant injection tests—the system reduces response and automated zonal isolation times from 24–48 hours to just 5–10 minutes. Additionally, dynamic pressure management combined with variable frequency drive (VFD) pumping cuts energy usage by 18–20% and NRW losses by 15–22%. Ultimately, this scalable, hardware-agnostic framework provides a robust model for resilient water infrastructure management in high-relief environments.*

Keywords - ***EPANET, smart water, distribution networks, Digital Twin.***

1. Introduction

Water systems are a crucial part of our infrastructure, but they're facing big problems due to climate change, urban growth, and old pipes. In mountainous areas, the water system is especially tricky because of the steep terrain, which can cause water to flow unevenly and lead to big losses of treated water. Also, the way we check water quality now is not good enough because it takes too long to get results, so we can't stop contamination quickly. To fix these issues, some people are using new technologies like virtual models of the water system, which can show what's happening in real-time. But there's still a lot to learn about how to use these models in areas with complex terrain and old pipes. This study aims to create a new framework for using these virtual models in tough terrain. To do this, we're making three main contributions: first, we're improving the way we calculate water flow in pipes to account for how they degrade over time; second, we're using machine learning to predict water quality without needing to measure it directly, which should reduce false alarms; and third, we're creating a system that can automatically control the water flow and add chemicals as needed, which should help us respond to problems much faster - in just a few minutes instead of hours.

2. Methodology & System Architecture

The proposed Digital Twin (DT) framework is built upon a four-layer cyber-physical architecture, ensuring bidirectional real-time data flows, dynamic hydraulic simulation, and automated closed-loop control.

2.1. Physical Layer and Pilot Site Topology

For the experimental validation and calibration of the proposed methodology, the municipal water supply network of Dedoplistskaro (Eastern Georgia) and its adjoining rural settlements (Gamarjveba, Ozaani, Mirzaani, and Kvemo Kedi) were selected as the pilot site. The pilot network has a unique feature - a big difference in height between where the water starts and where it ends up, with over 300 meters of elevation change. This network is made up of several parts, including pumping stations like "Mazovka" and "Stadion", as well as special stations that reduce water pressure. The water itself comes from different sources, which can have varying levels of certain substances like nitrates and Total Dissolved Solids, and these levels can change a lot from one season to another.

2.2. Hybrid Mathematical and Hydraulic Modeling

To accurately simulate non-linear hydrodynamic processes under complex terrain conditions, the traditional empirical Hazen-Williams approximation was replaced with the fundamental Darcy-Weisbach equation. The frictional head loss h_f [m] along a pipeline segment of length L [m] is expressed as:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

where D denotes the inner pipe diameter [m], $\Delta\upsilon$ represents the mean flow velocity [m/s], g is the acceleration due to gravity [m/s^2], and f is the dimensionless Darcy-Weisbach friction factor.

Given that the pilot infrastructure comprises aging pipelines constructed from heterogeneous materials (steel, polyethylene, and asbestos-cement), the friction factor f is dynamically evaluated in real time via the numerical solution of the non-linear implicit Colebrook-White equation:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

where ε denotes the equivalent absolute roughness of the inner pipe wall [m], and R_e represents the dimensionless Reynolds number, defined as:

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

where υ is the kinematic viscosity of water [m^2/s], which dynamically incorporates real-time temperature fluctuations transmitted by online sensors.

The optimal spatial deployment of Wireless Sensor Network (WSN) nodes was accomplished using the Threat Ensemble Vulnerability Assessment and Sensor Placement Optimization Tool (TEVA-SPOT) platform. The optimization objective function aimed to minimize the contamination detection time T_{detect} and the potential population affected P_{pop}:

$$\min_{S\subseteq V}\left[\sum_{i\in V} w_i \cdot T_{detect}(i,S)\right] \quad \text{subject to} \quad |S| \le B$$

where **S** is the subset of deployed sensor nodes, **B** represents the budget constraint (maximum allowable number of sensors), and $\mathbf{w_i}$ is the hydraulic weighting coefficient of the **i**-th node. Consequently, a spatial coverage exceeding 90% of critical network nodes was achieved.

2.3. Machine Learning (ML) and "Virtual Sensors"

Continuous streaming of sensor data (at a sampling frequency of 1 Hz) is processed using a Python Analytics Engine built on Scikit-Learn and TensorFlow. The ML architecture performs two primary operational functions:

1. Virtual Sensors: Prediction of directly unmeasurable biochemical indicators—such as the microbiological contamination risk index (R_{micro})—is accomplished via multi-parametric non-linear regression, where the input feature vector consists of real-time physical measurements:

$$\mathbf{X} = [\mathrm{pH}, \mathrm{EC}, \mathrm{NTU}, \mathrm{Cl}_{2,\mathrm{residual}}, T, P]$$

2. Anomaly Filtering and False Alarm Suppression: To eliminate false detections caused by hardware sensor drift and electromagnetic noise, an ensemble model comprising a Random Forest Classifier and Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural networks is deployed. The ML engine evaluates whether an abrupt variation in a monitored sensor parameter conforms to the hydraulic physical laws predicted by EPANET, thereby achieving a 20% reduction in the False Positive Rate (FPR).

2.4. Automated Closed-Loop Control

The Decision Support System (DSS) integrated into the SCADA/Ignition platform executes control operations based on a three-tiered risk matrix:

- Level 1 — Normal State (Proportional Blending): To balance water quality sourced from high-mineralization supplies, the proportion of Reverse Osmosis (RO) permeate and raw water at the blending

node is dynamically regulated using a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller to maintain a setpoint Total Dissolved Solids target (TSD_{target}).

- Level 2 — Warning State (Closed-Loop Chlorination Feedback): To guarantee adequate residual chlorine concentration ($Cl_{2,residual}$) at dead-end network nodes, the dosing rates of automated vacuum chlorinators are dynamically adjusted via a real-time feedback control algorithm.
- Level 3 — Critical State (Automated Zonal Isolation): Upon exceeding the critical threshold for the R_{micro} index or chemical contamination, the SCADA system assumes override control, immediately transmitting closing commands to Automated On-Off Valves (AOVs). This isolates the contaminated sector and triggers automated flushing valves, achieving full mitigation within a 5–10 minute response window.

3. Results & Discussion

The operational efficiency and hydraulic fidelity of the proposed Digital Twin (DT) framework were experimentally validated across the pilot municipal water supply network of Dedoplistskaro, Georgia, through a 6-month continuous monitoring period combined with "virtual injection" contamination simulations implemented in an EPANET-Python co-simulation environment.

3.1. Contamination Incident Response Dynamics ("Virtual Injection")

To evaluate the system's contamination identification speed and zonal isolation capabilities, a chemical contaminant (C_{contam}=10 mg/L) was virtually injected into Node N-14 of the central transmission main using EPANET 2.2's water quality solver engine.

(A) Traditional Protocol:

(B) Digital Twin:

- Traditional Reactive Model: Prolonged delays stemming from laboratory incubation, sample transport, and manual crew mobilization resulted in a total response latency of $\Delta T_{response}$=24-48 hours. Within this window, the contaminant plume reached 78% of down-gradient end-users.
- Digital Twin Framework: Abrupt deviations in electrical conductivity ($\Delta EC>15\%$) and turbidity ($\Delta NTU>2.5$) were detected within $T_{detect}\leq 1$min via WSN nodes. The Python ML ensemble validated the anomaly within 2 min (eliminating false positives), triggering SCADA to execute automated closure commands for isolation valves AOV-12 and AOV-14. Total response latency dropped to $\Delta T_{response}$=5-10 minutes, containing the contamination footprint to a localized sector representing <3% of the total network.

3.2. AI-Driven Anomaly Filtering and False Alarm Suppression

A major operational bottleneck in physical sensor networks is hardware drift, electromagnetic interference, and biofilm accumulation, leading to high False Alarm Rates (FAR).

By deploying an ensemble of Random Forest and LSTM neural networks, real-time sensor streams were continuously cross-referenced against EPANET's underlying physical hydraulic laws. If an abrupt spike in pH or Cl_2,residual occurred without corresponding pressure (ΔP) or flow (ΔQ) dynamics in adjacent nodes, the ML model flagged the event as "Sensor Noise/Drift." Field empirical data confirmed that integrating the ML validation layer suppressed the False Alarm Rate from $FAR_{baseline}$=25% down to FAR_{DT} =5%, yielding a 20% net operational improvement.

3.3. Hydraulic and Energy Optimization Metrics

Implementing dynamic pressure management via automated Pressure Reducing Valves (PRVs) alongside Variable Frequency Drives (VFDs) on main pumping units achieved substantial hydro-economic benefits across the pilot site:

Operational Parameter / Metric	Baseline State (Traditional SCADA)	Post DT Closed-Loop Deployment	Performance Improvement (%)
Contamination Response Time	24-48 Hours	5-10 minutes	>99% Reduction
False Alarm Rate (FAR)	25%	5%	20% Absolute Reduction
Pumping Energy Consumption	145 kWh/m3	117 kWh/m3	18-20% Energy Savings
Non-Revenue Water (NRW) Losses	38%	20%	15-22% Loss Reduction
RO Membrane Lifespan	2.5 years	3.0 years	15-20% Lifespan Extension

Pumping energy reductions of 18-20% were realized by eliminating nighttime over-pressurization and dynamically throttling VFD pump speeds in response to real-time diurnal demand curves ($Q_{demand}(t)$).

3.4. Comparative Discussion

The empirical findings confirm that integrating the fundamental Darcy-Weisbach and Colebrook-White formulations into EPANET provides vastly superior accuracy compared to conventional Hazen-Williams approaches. The empirical Hazen-Williams C-factor remains static, failing to account for seasonal water temperature fluctuations and dynamic shifts in the Reynolds number (Re). In high-relief topographies, this rigidity led to baseline pressure calculation errors of up to ±18%. The hybrid mathematical framework constrained pressure simulation error within ±3.5%.

Furthermore, unlike existing literature (e.g., Tao et al., 2018; Labs & Vassar, 2023) where Digital Twins function primarily as open-loop visualizers, this study demonstrates a fully automated, closed-loop cyber-physical framework where AI analytics directly execute actuator control without human-in-the-loop latency.

4. Conclusion

This study developed, mathematically formulated, and experimentally validated a novel four-layer cyber-physical Digital Twin (DT) architecture specifically tailored to resolve the structural vulnerabilities of Water Distribution Networks (WDNs) operating under extreme geodetic elevation changes (>300 m). By replacing conventional empirical Hazen-Williams approximations with dynamic Darcy-Weisbach formulations and non-linear Colebrook-White friction factor calculations, the simulation engine achieved high hydraulic fidelity across aging, multi-material piping infrastructure, constraining operational pressure calculation errors within ±3.5%.

Comprehensive field trials and virtual contaminant injection scenarios across the Dedoplistskaro pilot system yielded three primary technological and operational breakthroughs:

Drastic Latency Reduction: The integration of WSN streaming, Python-based machine learning ensembles acting as "virtual sensors," and closed-loop SCADA automation accelerated contamination containment and automated zonal isolation from 24-48 hours down to 5-10 minutes.

False Alarm Mitigation: Cross-referencing real-time biochemical anomalies against EPANET's underlying physical hydraulic laws reduced the False Alarm Rate (FAR) from 25% to 5%, resolving the critical issue of hardware drift and ensuring decision-grade reliability.
Hydro-Economic Optimization: Dynamic pressure zoning combined with Variable Frequency Drive (VFD) pump scheduling achieved an 18-20% reduction in electricity consumption, decreased Non-Revenue Water (NRW) physical losses by 15-22%, and extended Reverse Osmosis (RO) membrane lifespans by 15-20%.
The broader implications of this work extend beyond regional infrastructure; the proposed framework provides a universal, hardware-agnostic, and scalable blueprint for transitioning legacy water distribution networks in complex terrains into resilient, self-governing smart systems. Future research will focus on decentralizing analytics via Edge AI computing at sensor gateways and embedding predictive models for long-term climate-induced hydrological deficits.

Funding Statement This research was supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia [Grant Number №PHDF-24-532].

References

[1] T. Aldhyani, M. Al-Yaari, H. Alkahtani, and M. Maashi, “Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms,” Appl. Bionics Biomech., vol. 2020, p. 6659313, 2020.
[2] Aqualabo, “Digital sensor NTU: Nephelometric turbidity measurements,” Datasheet PF-CAP-C-00174, 2021.
[3] Aquaread, “Ammonia & Nitrate sensors for water quality monitoring,” Tech. Spec., 2022.
[4] C.-H. Chen, Y.-C. Wu, J.-X. Zhang, and Y.-H. Chen, “IoT-Based Fish Farm Water Quality Monitoring System,” Sensors, vol. 22, no. 17, p. 6700, 2022.
[5] L. Chen, T. Wu, Z. Wang, X. Lin, and X. Cai, “A novel hybrid BPNN model for water quality index prediction,” Ecol. Indic., vol. 146, p. 109861, 2023.
[6] Daviteq, “Modbus RTU Turbidity Sensor MBRTU-TBD,” User Manual, 2022.
[7] DFRobot, “Gravity: Analog TDS and Turbidity Sensors for Arduino,” Product Manuals SEN0244 / SEN0189, 2021.
[8] Vassar Labs, “Aqueduct: Water management through AI and digital twins,” White Paper, 2023.
[9] F. Tao et al., “Digital twin-driven product design, manufacturing and service,” Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 94, pp. 3563–3576, 2018.

DEVELOPING INTERCULTURAL COMMUNICATION COMPETENCE FOR GRADUATE STUDENTS IN TOURISM MANAGEMENT: A CASE STUDY AT A PRIVATE UNIVERSITY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM

Dr. Thai Cong DAN
School of Foreign Languages
Can Tho University (CTU), Can Tho City, Vietnam,
ORCID: 0009-0002-9566-8128
Le Minh HIEU,
An Giang 2 Boarding Junior and Senior High School
for Ethnic Minorities
-Ha Tien Campus, An Giang Province, Vietnam,
Thach Chanh DA,
School of Political Sciences, Social Sciences
&Humanities
CTU, Can Tho City, Vietnam,

Abstract
In globalization and digital transformation, intercultural communication competence is crucial for tourism human resources. This study examines a bilingual graduate course, "*Multicultural Culture in Tourism Business*," for 26 students (12 males, 14 females, aged 25–50) in the Mekong Delta, Vietnam; most were tourism educators, four worked in travel/hotels, and one was a tourism CEO. Using document analysis, classroom observation, and thematic analysis of eight research-paper-format assignments (each group read at least 10 sources), it explores how cultural theories (Hofstede, Hall, Lewis) and experiential activities develop Cultural Intelligence (CQ) and Emotional Intelligence (EQ). Findings show significant CQ improvement (Knowledge, Awareness, Motivation, Behavior), though academic writing and theory integration remain limited. The study proposes a five-pillar training model and recommendations for Vietnam's tourism education, contributing to intercultural competence literature and curriculum design in developing countries.
Keywords: intercultural communication, cultural intelligence (CQ), tourism education, graduate students, Mekong Delta

1. INTRODUCTION

1.1. Rationale

The global tourism industry has experienced remarkable recovery following the COVID-19 pandemic, with international tourist arrivals reaching 1.5 billion in 2024 and projected to exceed 1.8 billion by 2030 (UN Tourism, 2025). Vietnam has emerged as one of the most dynamic destinations in Southeast Asia, welcoming over 17.5 million international visitors in 2024 and nearly 21.2 million in 2025 (Vietnam National Authority of Tourism, 2025, 2026). This rapid growth has been accompanied by an increasing diversity of source markets, bringing tourists from East Asia, Europe, North America, and the Middle East with distinct cultural values, communication styles, and service expectations.

For tourism professionals, particularly those in management positions, the ability to navigate cultural differences has become a critical competency. Intercultural communication competence—defined as the ability to communicate effectively and appropriately across cultural boundaries—directly influences service quality, customer satisfaction, and destination competitiveness (Reisinger & Turner, 2003; Lustig & Koester, 2010). Research consistently demonstrates that cultural misunderstandings, rather than technical service failures, account for a significant proportion of negative tourist experiences and complaints (Chen & Starosta, 1996; Hall, 1976).

Despite the recognized importance of intercultural competence, tourism education in Vietnam faces substantial challenges in developing these skills among graduate students. Existing curricula often prioritize theoretical knowledge over practical application, with limited opportunities for students to engage in experiential learning activities that simulate real-world intercultural encounters (Trang & Phuong, 2023; Hoang et al., 2025). This gap is particularly pronounced in the Mekong Delta region, where private universities have emerged as important providers of tourism education but often lack the resources

and expertise to deliver high-quality intercultural training.

The present study addresses this gap by examining the design, implementation, and outcomes of a graduate course on multicultural culture in tourism business at a private university in the Mekong Delta. By analyzing the teaching methodology and student learning outcomes, the study aims to provide evidence-based recommendations for enhancing intercultural competence development in tourism education.

1.2. Research Questions

The study was guided by three research questions:

RQ1: How is the graduate course "Multicultural Culture in Tourism Business" designed and implemented to develop intercultural communication competence?

RQ2: To what extent do graduate students demonstrate the development of Cultural Intelligence (CQ) components through course activities and final assignments?

RQ3: What challenges and limitations affect the effectiveness of intercultural competence development in this educational context?

1.3. Research Objectives

The study pursued three specific objectives:

1. To describe the pedagogical design and implementation of the multicultural tourism course, including learning activities, assessment methods, and theoretical frameworks employed.
2. To evaluate the development of students' Cultural Intelligence (CQ) across four dimensions: CQ Knowledge, CQ Awareness, CQ Motivation, and CQ Behavior, as evidenced through classroom participation and final assignment quality.
3. To identify challenges and propose recommendations for improving intercultural competence development in graduate tourism education in Vietnam.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Intercultural Communication Competence

Intercultural communication competence refers to the ability to communicate effectively and appropriately in intercultural contexts, drawing on knowledge, skills, and attitudes that enable individuals to navigate cultural differences (Lustig & Koester, 2010). Chen and Starosta (1996) conceptualize intercultural competence as comprising three dimensions: intercultural sensitivity (affective), intercultural awareness (cognitive), and intercultural adroitness (behavioral).

In the tourism context, intercultural competence is particularly critical because service encounters are inherently interpersonal and culturally situated. Tourists bring their own cultural frameworks—values, beliefs, communication norms, and expectations—which may differ significantly from those of service providers. When these frameworks clash, misunderstandings, dissatisfaction, and negative word-of-mouth can result (Reisinger & Turner, 2003). Thus, developing intercultural competence among tourism professionals is not merely an educational objective but an industry imperative.

2.2. Cultural Intelligence (CQ) and Emotional Intelligence (EQ)

Cultural Intelligence (CQ) represents a specific form of intelligence focused on functioning effectively in culturally diverse settings. Earley and Ang (2003) proposed a four-dimensional model of CQ:

1. **CQ Knowledge:** Understanding of cultural values, norms, and practices.
2. **CQ Awareness (Meta-cognition):** Awareness of cultural differences during interactions.
3. **CQ Motivation:** Willingness and confidence to engage with other cultures.
4. **CQ Behavior:** Ability to adapt verbal and nonverbal behavior appropriately.

Complementing CQ, Emotional Intelligence (EQ) involves the capacity to recognize, understand, and manage one's own emotions and those of others (Goleman, 1995). In intercultural service encounters, EQ enables professionals to remain calm under pressure, empathize with frustrated customers, and respond constructively to complaints. Research suggests that both CQ and EQ are essential for effective intercultural communication in tourism, with CQ providing the cultural framework and EQ enabling emotional regulation (Brislin, Worthley, & MacNab, 2006).

2.3. Theoretical Models of Culture

2.3.1. Hofstede's Cultural Dimensions

Geert Hofstede's (2010) six-dimensional model remains the most widely used framework for analyzing cultural differences:

1. **Power Distance Index (PDI):** Acceptance of hierarchical power distribution.
2. **Individualism vs. Collectivism (IDV):** Priority of personal vs. group goals.
3. **Masculinity vs. Femininity (MAS):** Emphasis on achievement vs. quality of life.
4. **Uncertainty Avoidance Index (UAI):** Tolerance for ambiguity and uncertainty.
5. **Long-term vs. Short-term Orientation (LTO):** Focus on future vs. present/past.
6. **Indulgence vs. Restraint (IVR):** Allowance for gratification of desires.

In tourism, these dimensions help explain variations in tourist behavior, service expectations, and complaint patterns across cultures (Gnoth & Zins, 2010; Reisinger & Turner, 2003).

2.3.2. Hall's High-Context and Low-Context Cultures

Edward T. Hall (1976) distinguished between high-context and low-context cultures. In high-context cultures (e.g., Japan, Korea, Vietnam), communication relies heavily on implicit messages, nonverbal cues, and shared understanding. In low-context cultures (e.g., USA, Germany), communication is direct, explicit, and verbal. This distinction has profound implications for tourism service encounters, influencing how tourists express satisfaction or dissatisfaction, how they interpret service provider behavior, and how they prefer to receive information.

2.3.3. Lewis's Model of Cross-Cultural Communication

Richard D. Lewis (2006) proposed a tripartite model of cultural communication styles:

- **Linear-active:** Task-oriented, structured, direct (Germany, USA).
- **Multi-active:** Relationship-oriented, emotional, flexible (Latin America, Middle East).
- **Reactive:** Listening-oriented, indirect, harmony-seeking (Japan, Vietnam).

This model complements Hofstede and Hall by focusing on communication behaviors and preferences in business and service contexts.

2.4. Experiential Learning in Tourism Education

Kolb's (1984) experiential learning theory posits that learning occurs through a cycle of concrete experience, reflective observation, abstract conceptualization, and active experimentation. In tourism education, experiential methods such as role-play, case studies, simulations, and field trips have been shown to enhance student engagement, skill development, and knowledge retention (Ruhanen, 2005; Dale & Robinson, 2001).

Research specifically on intercultural competence development suggests that combining theoretical instruction with experiential activities is more effective than either approach alone (Bennett, 2009; Deardorff, 2006). Role-play, in particular, allows students to practice intercultural communication in a safe environment, receive feedback, and reflect on their behavior.

2.5. Tourism Education in Vietnam

Tourism education in Vietnam has expanded rapidly over the past two decades, with numerous universities offering undergraduate and graduate programs. However, several challenges persist, including:

- Overemphasis on theoretical knowledge at the expense of practical skills.
- Limited opportunities for international exposure and intercultural interaction.
- Shortage of faculty with expertise in intercultural communication.
- Inadequate teaching materials and resources.

These challenges are particularly acute in the Mekong Delta region, where private universities have emerged as significant providers of tourism education but often lack the resources of their public counterparts (Trang & Phuong, 2023).

2.6. Research Gap

While extensive literature exists on intercultural competence and tourism education separately, few studies have examined the specific processes and outcomes of intercultural competence development in graduate tourism programs in Vietnam, particularly in the Mekong Delta context. This study addresses this gap by providing a detailed case analysis of a graduate course designed to develop intercultural communication competence.

3. METHODOLOGY

3.1. Research Questions

This study was guided by the three research questions stated in Chapter 1:

RQ1: How is the graduate course "Multicultural Culture in Tourism Business" designed and

implemented to develop intercultural communication competence?
RQ2: To what extent do graduate students demonstrate the development of Cultural Intelligence (CQ) components through course activities and final assignments?
RQ3: What challenges and limitations affect the effectiveness of intercultural competence development in this educational context?

3.2. Research Design

The study employed a qualitative case study design (Yin, 2018), which is appropriate for investigating complex educational phenomena in their natural context. The case is a graduate course on multicultural culture in tourism business offered at a private university in the Mekong Delta, Vietnam, during the 2025–2026 academic year.

3.3. Research Context and Participants

The course was delivered over 10 sessions (45 contact hours) to 26 graduate students (12 males, 14 females), aged 25–50, enrolled in the Master's program in Tourism and Hospitality Management. Most participants were working at universities or colleges related to tourism; four worked in travel agencies or hotels; one was a CEO of a tourism company. Their professional experience ranged from 3 to 18 years. The course was taught bilingually in Vietnamese and English to accommodate learners' language backgrounds and to model intercultural communication.

3.4. Course Design and Implementation

The course was structured around three learning phases:

Phase 1 (Sessions 1–2): Foundation

- Introduction to culture and cultural components
- Identification of tangible and intangible cultural elements
- Discussion of cultural products as tourism resources
-

Phase 2 (Sessions 3–4): Theoretical Frameworks

- Hofstede's six dimensions with Vietnam–USA and Vietnam–Japan comparisons
- Hall's high/low context and Lewis's communication styles
- Role-play activities simulating interactions with American and Japanese tourists

Phase 3 (Sessions 5–10): Application and Assessment

- Group presentations analyzing academic articles and video clips
- Case study discussions on cultural conflicts in tourism
- Group final assignment (research-paper format, approximately 5,000 words): each group read at least 10 related documents and applied cultural theories to a tourism topic, drawing on teaching, research, and professional experience. The assignment was descriptive in nature but required theoretical application.

Assessment components included:

- Participation and discussion: 10%
- Group presentation: 30%
- Final written assignment: 60%

3.5. Data Collection

Data were collected from three sources:

1. **Course documents:** Syllabus, lecture slides, reading lists, video links, and assignment guidelines.
2. **Classroom observation:** Detailed field notes recorded during all 10 sessions, focusing on student participation, questions, and role-play performance.
3. **Group final assignments:** Eight group final assignments (approximately 5,000 words each) submitted by groups of 3–4 students. The assignments followed a research-paper format, and each group read at least 10 related documents. Topics included cultural diversity and international tourists, sustainable cultural tourism, AI in intercultural communication, ethnic minority tourism, green tourism, food culture, tourist behavior, and heritage preservation.

3.6. Data Analysis

Data were analyzed using thematic analysis (Braun & Clarke, 2006) following these steps:

1. Familiarization with data through repeated reading.

2. Generation of initial codes related to CQ components, theoretical frameworks, and challenges.
3. Searching for themes across codes.
4. Reviewing and refining themes.
5. Defining and naming themes.
6. Producing the final report.

For final assignments, analysis focused on:

- Theoretical frameworks used (Hofstede, Hall, Lewis).
- Research topics and methodologies.
- Application of theory to practical contexts.
- Demonstration of CQ components.

3.7. Ethical Considerations

Participation was voluntary, and students provided informed consent for their assignments to be analyzed. All data were anonymized, and no identifying information was included in the report.

3.8. Limitations

The study has several limitations:

- Small sample size (26 students, 8 assignments analyzed).
- Single case study design limits generalizability.
- Reliance on self-reported and observational data.
- Lack of pre-post measurement of CQ.
- The age range of participants (15–50) is unusually broad for a graduate program; if 15 is not a typo, this should be clarified in future reports.
- The bilingual delivery (Vietnamese and English) may also have influenced comprehension and expression in the final assignments.

4. FINDINGS AND DISCUSSION

4.1. RQ1: Course Design and Implementation

4.1.1. Theoretical Foundations

The course was designed around three core theoretical frameworks: Hofstede's cultural dimensions, Hall's high/low context, and Lewis's communication styles. These theories were introduced progressively, with each building on the previous one. Hofstede provided the broadest framework for comparing national cultures, Hall focused specifically on communication contexts, and Lewis offered practical insights into business and service interactions.

Classroom observations revealed that students initially struggled with the abstract nature of Hofstede's dimensions but gradually developed understanding through concrete examples. The instructor used comparisons between Vietnam and other countries (USA, Japan, Korea) to make the dimensions more tangible. Role-play activities were particularly effective in helping students internalize Hall's high/low context distinction.

4.1.2. Experiential Learning Activities

The course incorporated multiple experiential activities:

Role-play: Students simulated interactions between tour guides and tourists from different cultures. In one scenario, students played American tourists complaining about slow service to a Vietnamese guide, requiring them to navigate direct vs. indirect communication styles. Observations indicated that students initially reverted to their natural communication style but improved with practice and feedback.

Video analysis: Students watched and analyzed videos depicting cultural misunderstandings in hospitality settings. This activity helped them identify nonverbal cues and contextual factors that contribute to misunderstandings.

Group presentations: Each group presented an academic article and a video clip on a cultural topic, followed by Q&A and critique from peers and instructor. This activity developed research skills, critical thinking, and presentation abilities.

Case study discussions: Real-world cases from Vietnamese tourism contexts were analyzed using theoretical frameworks. For example, a case involving Korean tourists' complaints about service quality was analyzed through Hofstede's dimensions and Hall's context theory.

4.1.3. Assessment Methods

The assessment structure aligned with learning objectives. The final assignment required students to apply

at least two theoretical models to analyze a tourism-related issue in Vietnam, ensuring integration of theory and practice. Group presentations assessed collaborative skills and ability to communicate complex ideas. Participation grades encouraged active engagement throughout the course.

4.2. RQ2: Development of Cultural Intelligence (CQ)

4.2.1. CQ Knowledge

Analysis of final assignments revealed that all eight groups demonstrated solid understanding of Hofstede's six dimensions, with 100% using Hofstede as their primary framework. Five of eight (62.5%) also incorporated Hall's high/low context theory. However, none used Lewis's model, suggesting that this framework received less emphasis or was perceived as less applicable.

Examples of CQ Knowledge application included:

- A student comparing Korean and American tourist behavior using Hofstede's Individualism (IDV=18 vs 91) and Uncertainty Avoidance (UAI=85 vs 46) dimensions.
- Another student analyzing Hoi An as a multicultural destination, noting how Japanese tourists (high-context, high UAI) prefer guided tours while American tourists (low-context, low UAI) prefer independent exploration.

These applications demonstrate that students had internalized the theoretical content and could apply it to specific cultural comparisons.

4.2.2. CQ Awareness

CQ Awareness refers to the ability to recognize cultural differences during interactions. Evidence of CQ Awareness was found in students' reflections on their own cultural assumptions and their recognition of how cultural conditioning shapes behavior.

Several students noted in their assignments that they had previously interpreted silence from Asian tourists as satisfaction, not recognizing that silence might indicate discomfort or disagreement in high-context cultures. One student wrote: "*I now understand that when Korean guests do not complain directly, it does not mean they are happy. They may be waiting for us to notice their discomfort through nonverbal cues.*"

Another student reflected on her own communication style: *"As a Vietnamese, I tend to avoid direct confrontation. But when serving American guests, I need to be more direct and transparent. This is not being rude—it is being professional in their cultural framework*."

4.2.3. CQ Motivation

CQ Motivation encompasses interest, confidence, and drive to engage with other cultures. Classroom observations revealed high levels of motivation among students, evidenced by active participation in discussions, thoughtful questions, and voluntary sharing of professional experiences.

In final assignments, many students expressed enthusiasm for applying cultural knowledge in their workplaces. One student wrote: "*This course has opened my eyes. I want to learn more about Korean culture so I can better serve our Korean guests. I have already started reading about Korean history and customs."*

Another student, who works as a tour guide, described how he had already begun adjusting his communication style based on cultural theories: *"I used to treat all tourists the same. Now I pay attention to whether they are from high-context or low-context cultures and adjust my explanations accordingly."*

4.2.4. CQ Behavior

CQ Behavior refers to the ability to adapt behavior appropriately in intercultural situations. Evidence of CQ Behavior was observed during role-play activities and in students' proposed solutions in final assignments.

During role-play, students initially struggled to adapt their communication style, often reverting to their natural patterns. However, with feedback and practice, most improved. For example, when playing the role of a Vietnamese guide serving American tourists, one student learned to: *"Look directly at the guest, speak clearly and directly, and not be afraid to say 'I don't know but I will find out*.'"

In final assignments, students proposed concrete behavioral adaptations for tourism businesses:

- Providing detailed itineraries and clear time schedules for Korean tourists (high UAI).
- Offering flexible, customizable experiences for American tourists (high IDV, low UAI).
- Using indirect communication and avoiding public criticism for Japanese tourists (high-context).

- Providing explicit information and direct feedback mechanisms for European tourists (low-context).

4.3. RQ3: Challenges and Limitations

4.3.1. Student Challenges

Academic writing skills: Many students struggled with academic writing conventions, including proper citation (APA style), critical analysis, and argumentation. While all students could describe cultural differences, some had difficulty moving beyond description to analysis and evaluation.

Integration of multiple theories: While all students used Hofstede, few integrated multiple theoretical frameworks. Only 5 of 8 used Hall, and none used Lewis. This suggests a need for greater emphasis on synthesizing different models.

Application to specific contexts: Some students struggled to move from general cultural dimensions to specific, actionable recommendations for tourism businesses. Their recommendations tended to be broad (e.g., "train staff in intercultural communication") rather than specific (e.g., "for Korean guests, provide written itineraries in Korean with exact times and locations").

4.3.2. Pedagogical Challenges

Time constraints: With only 45 contact hours, the course could not cover all theoretical models in depth or provide extensive practice opportunities. Lewis's model, in particular, received limited attention.

Assessment of CQ: Measuring CQ development is challenging, especially in a single course. Pre-post CQ assessments would provide stronger evidence of development but were not feasible within the course structure.

Student diversity: Students came from diverse professional backgrounds, some with extensive international experience and others with limited exposure. This heterogeneity made it challenging to pitch content at the right level for all.

4.3.3. Discussion

The findings align with existing literature on intercultural competence development. The effectiveness of combining theoretical instruction with experiential activities supports Kolb's (1984) experiential learning theory and previous research by Deardorff (2006) and Bennett (2009). The prominence of Hofstede in student assignments reflects its dominance in the field but also suggests an over-reliance on a single framework.

The development of CQ components among students is encouraging, particularly in CQ Knowledge and CQ Awareness. However, CQ Behavior remains the most challenging dimension to develop, consistent with research indicating that behavioral change requires sustained practice and feedback (Earley & Ang, 2003).

The challenges identified—academic writing, theory integration, and time constraints—are not unique to this context but reflect broader issues in Vietnamese graduate education. Addressing these challenges requires curricular and pedagogical innovations, including more scaffolding for academic writing, clearer guidance on theory integration, and extended course duration.

5. CONCLUSION

5.1. Summary of Findings

This study examined the design, implementation, and outcomes of a graduate course on multicultural culture in tourism business at a private university in the Mekong Delta, Vietnam. The findings reveal that:

1. The course successfully integrated theoretical frameworks (Hofstede, Hall) with experiential activities (role-play, case studies, group presentations) to create a rich learning environment.
2. Students demonstrated significant development in CQ Knowledge and CQ Awareness, with strong motivation to apply cultural knowledge in their professional roles. CQ Behavior showed improvement but remained the most challenging dimension.

3. Challenges included limited academic writing skills, insufficient integration of multiple theoretical models, and time constraints.

5.2. Theoretical Contributions

The study contributes to the literature on intercultural competence development in tourism education by:

- Providing empirical evidence on the effectiveness of combining Hofstede, Hall, and Lewis in a graduate course.
- Demonstrating the applicability of the CQ framework in evaluating student learning outcomes.
- Highlighting the importance of experiential learning in developing intercultural competence.

5.3. Practical Implications

For tourism educators:

- Integrate multiple theoretical frameworks to provide a comprehensive understanding of cultural differences.
- Incorporate experiential activities such as role-play, simulations, and case studies.
- Provide scaffolding for academic writing and theory application.

For curriculum designers:

- Consider extending course duration to allow deeper coverage of content.
- Include pre-post CQ assessments to measure development.
- Collaborate with industry partners to provide real-world intercultural experiences.

For tourism businesses:

- Invest in ongoing intercultural training for staff.
- Develop culturally specific service protocols based on theoretical frameworks.
- Create opportunities for staff to interact with international tourists and receive feedback.

5.4. Limitations and Future Research

The study's limitations include small sample size, single case design, and lack of quantitative measures. Future research should:

- Conduct longitudinal studies tracking CQ development over time.
- Use mixed methods including validated CQ scales.
- Compare intercultural competence development across different educational contexts.
- Investigate the impact of intercultural training on service quality and customer satisfaction.

5.5. Conclusion

In an increasingly globalized tourism industry, intercultural communication competence is not optional but essential. This study demonstrates that graduate tourism education can effectively develop this competence when theoretical rigor is combined with experiential learning. The findings provide valuable insights for educators, curriculum designers, and industry practitioners seeking to enhance intercultural competence in the tourism workforce. As Vietnam continues to attract diverse international visitors, the development of intercultural competence among tourism professionals will be critical to ensuring sustainable growth and competitiveness.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to the postgraduate students who participated in the course *Multicultural Culture in Tourism Business* and contributed to the completion of this study through their active engagement in classroom activities, collaborative learning, and research-paper assignments. Their contributions provided valuable insights into the development of intercultural communication competence in tourism education in the Mekong Delta, Vietnam. The authors also gratefully acknowledge the academic and institutional support

that facilitated the implementation of the course and the preparation of this research paper. Special thanks are extended to the organizers of ***The 11th International Selçuk Congress on Scientific Research***, to be held in Konya, Türkiye, on November 6–7, 2026, for providing an academic platform for researchers to share their work and exchange ideas across disciplines and cultural contexts.

REFERENCES

Bennett, M. J. (2009). Defining, measuring, and facilitating intercultural learning: A conceptual introduction to the Intercultural Education double supplement. Intercultural Education, 20(S1), S1–S13.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Brislin, R., Worthley, R., & MacNab, B. (2006). Cultural intelligence: Understanding behaviors that serve people's goals. Group & Organization Management, 31(1), 40–55.

Chen, G. M., & Starosta, W. J. (1996). Intercultural communication competence: A synthesis. Communication Yearbook, 19, 353–383.

Dale, C., & Robinson, N. (2001). The theme of tourism education: A three-domain approach. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 13(1), 30–34.

Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. Journal of Studies in International Education, 10(3), 241–266.

Earley, P. C., & Ang, S. (2003). Cultural intelligence: Individual interactions across cultures. Stanford University Press.

Gnoth, J., & Zins, A. H. (2010). Cultural dimensions and the international tourist role scale: Validation in Asian destinations? Asia Pacific Journal of Tourism Research, 15(2), 111–127.

Goleman, D. (1995). Emotional intelligence. Bantam Books.

Hall, E. T. (1976). Beyond culture. Anchor Books.

Hoang, M. H., et al. (2025). Intercultural communication in Vietnamese tourism education. Journal of Tourism Education, 15(2), 45–62.

Hofstede, G. (2010). Cultures and organizations: Software of the mind (3rd ed.). McGraw-Hill.

Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.

Lewis, R. D. (2006). When cultures collide: Leading across cultures (3rd ed.). Nicholas Brealey.

Lustig, M. W., & Koester, J. (2010). Intercultural competence: Interpersonal communication across cultures (6th ed.). Pearson.

Reisinger, Y., & Turner, L. (2003). Cross-cultural behaviour in tourism: Concepts and analysis. Butterworth-Heinemann.

Ruhanen, L. (2005). Bridging the divide between theory and practice: Experiential learning approaches for tourism and hospitality management education. Journal of Teaching in Travel & Tourism, 5(4), 33–51.

Trang, T. T. T., & Phuong, V. T. (2023). Intercultural communication skills of tourism students. Hue University Journal of Science, 128(6), 85–95.

UN Tourism. (2025). World tourism barometer. UNWTO.

Vietnam National Authority of Tourism. (2025). Vietnam tourism statistics 2024. VNAT.

Vietnam National Authority of Tourism. (2026). Vietnam tourism statistics 2025. VNAT.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). Sage.

FROM THEORY TO PROFESSIONAL PRACTICE: HOW TOURISM PROFESSIONALS LEARN AND APPLY MULTICULTURAL COMPETENCE IN GRADUATE EDUCATION - A CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM

Dr. Thai Cong DAN
School of Foreign Languages
Can Tho University (CTU), Can Tho City, Vietnam,
ORCID: 0009-0002-9566-8128
Le Minh HIEU,
An Giang 2 Boarding Junior and Senior High School for Ethnic Minorities
-Ha Tien Campus, An Giang Province, Vietnam,
Do Thi Xuan QUYEN,
School of Political Sciences, Social Sciences &Humanities
CTU, Can Tho City, Vietnam,

Abstract
This qualitative case study examines how 26 graduate students (12 males, 14 females, aged 25–50) in Vietnam, mostly tourism educators plus four travel/hotel staff and one tourism CEO, learned and applied multicultural theories. The bilingual Vietnamese–English course used documents, 10 classroom observations, and eight group assignments; each group read at least 10 sources and wrote research-paper-style descriptive analyses drawing on teaching, research, and professional experience. Findings show professional experience both supported and constrained learning, revealing three patterns: experience-driven, theory-driven, and integrative learners. Students applied cultural theories to curriculum design, hotel/restaurant service, tour guiding, tourism research, business strategy, and policy. The study proposes a teaching model that builds on professional backgrounds while addressing gaps in theoretical integration and academic writing. It contributes to understanding adult learning and multicultural competence in graduate tourism education.
Keywords: multicultural competence, tourism education, professional practice, adult learning, Mekong Delta

1. INTRODUCTION

1.1. Rationale

Tourism professionals increasingly need multicultural competence to serve diverse international visitors effectively. In Vietnam, where the tourism industry has recovered strongly with over 17.5 million international arrivals in 2024 (Vietnam National Authority of Tourism, 2025), the ability to navigate cultural differences has become a core professional requirement. However, developing this competence among practicing professionals presents unique challenges: they bring rich practical experience but may lack theoretical grounding; they are busy with work responsibilities; and they need learning that is immediately applicable to their jobs.

Graduate education in tourism plays a critical role in developing multicultural competence. Yet, little is known about how tourism professionals actually learn cultural theories and apply them to their work. Most research on intercultural competence focuses on undergraduate students or pre-service teachers, not on practicing professionals who are simultaneously learners and practitioners.

This study addresses this gap by examining the learning experiences of 26 graduate students—all working in the tourism industry—enrolled in a course on multicultural culture in tourism business at a private university in the Mekong Delta, Vietnam. By analyzing how these professionals engage with cultural theories through classroom activities and group assignments, the study provides insights for designing effective multicultural education for adult learners in tourism.

1.2. Research Questions

The study was guided by three research questions:

RQ1: How do tourism professionals in a graduate program engage with and learn multicultural theories

(Hofstede, Hall, Lewis) through classroom activities and group assignments?
RQ2: How do these professionals apply multicultural theories to their professional practice, as demonstrated in their group final assignments?
RQ3: What teaching strategies can effectively support the development of multicultural competence among practicing tourism professionals?

1.3. Research Objectives

The study aimed to:

1. Describe how tourism professionals learn and make sense of multicultural theories through participation in classroom activities and group work.
2. Analyze the translation of theoretical knowledge into professional practice, as evidenced in group final assignments.
3. Propose a teaching model for developing multicultural competence that builds on learners' professional experience while addressing theoretical and methodological gaps.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Adult Learning and Professional Development

Adult learning theory (Knowles, 1984) posits that adult learners are self-directed, bring extensive experience to learning, and prefer problem-centered rather than content-centered approaches. In professional education, learning is most effective when it is immediately applicable to work contexts. Mezirow's (1991) transformative learning theory further suggests that adults learn best when they encounter disorienting dilemmas that challenge their existing assumptions.

For tourism professionals learning multicultural competence, these principles suggest that instruction should:

- Build on learners' practical experience with diverse tourists.
- Provide opportunities to reflect on and question existing assumptions.
- Offer immediately applicable tools and strategies.

2.2. Multicultural Competence in Tourism

Multicultural competence in tourism encompasses knowledge of cultural differences, awareness of one's own cultural conditioning, motivation to engage with other cultures, and behavioral flexibility (Earley & Ang, 2003). Developing these competencies requires both theoretical understanding and practical application (Deardorff, 2006).

Research on multicultural competence in tourism education has primarily focused on undergraduate students (Ruhanen, 2005; Trang & Phuong, 2023). Less is known about how practicing professionals develop these competencies through graduate education.

2.3. Theoretical Frameworks for Teaching Culture

Three frameworks are commonly taught in tourism programs:

- **Hofstede's (2010) six dimensions:** Provides a systematic way to compare national cultures across Power Distance, Individualism/Collectivism, Masculinity/Femininity, Uncertainty Avoidance, Long-term Orientation, and Indulgence/Restraint.
- **Hall's (1976) high/low context:** Focuses on communication styles, distinguishing between cultures that rely on implicit vs. explicit messages.
- **Lewis's (2006) tripartite model:** Categorizes cultures by communication behavior into Linear-active, Multi-active, and Reactive.

These frameworks are useful but abstract. Teaching them to professionals requires connecting theory to practice through case studies, role-play, and reflective activities (Kolb, 1984).

2.4. Group Work and Peer Learning in Graduate Education

Group work and peer learning are widely recognized as effective strategies in graduate education, particularly for adult learners who bring diverse professional experiences (Johnson & Johnson, 2009). Group assignments allow learners to share knowledge, challenge each other's assumptions, and develop collaborative skills. In multicultural education, group work can also simulate the intercultural interactions that professionals encounter in their daily work.

Research suggests that group presentations and peer feedback are particularly valuable for developing critical thinking and communication skills (Boud, Cohen, & Sampson, 2001). When students present their work to peers, they must articulate their ideas clearly, defend their arguments, and respond to questions—

all skills that are essential for intercultural communication.

2.5. Research Gap

While literature exists on teaching multicultural competence and on adult learning separately, few studies have examined how practicing tourism professionals learn and apply multicultural theories in graduate education. This study addresses this gap by providing an in-depth analysis of learning processes and application outcomes in a specific context, using group assignments and classroom observations as primary data sources.

3. METHODOLOGY

3.1. Research Questions

This study addressed the three research questions stated in Section 1:

RQ1: How do tourism professionals in a graduate program engage with and learn multicultural theories through classroom activities and group assignments?

RQ2: How do these professionals apply multicultural theories to their professional practice, as demonstrated in their group final assignments?

RQ3: What teaching strategies can effectively support the development of multicultural competence among practicing tourism professionals?

3.2. Research Design

The study employed a qualitative case study design (Yin, 2018). The case is a graduate course on multicultural culture in tourism business delivered to 26 practicing tourism professionals at a private university in the Mekong Delta, Vietnam. The case study approach is appropriate for investigating complex phenomena in their natural context, allowing for in-depth exploration of learning processes and professional application.

3.3. Research Context and Participants

Participants were 26 graduate students (12 males, 14 females), aged 25–50, enrolled in a Master's program in Tourism and Hospitality Management at a private university in the Mekong Delta, Vietnam. Most participants were working at universities or colleges related to tourism; four worked in travel agencies or hotels; one was a CEO of a tourism company. Their professional experience ranged from 3 to 18 years. This diversity of roles provided rich material for analyzing how different professionals learn and apply multicultural theories in their specific work contexts. The course was delivered bilingually in Vietnamese and English.

3.4. Course Design

The course was delivered over 10 sessions (45 contact hours) and structured around three phases:

Phase 1 (Sessions 1–2): Introduction to culture and cultural components.

- Defining culture and its components
- Identifying tangible and intangible cultural elements
- Discussing cultural products as tourism resources

Phase 2 (Sessions 3–4): Theoretical frameworks with role-play activities.

- Hofstede's six dimensions with Vietnam–USA and Vietnam–Japan comparisons
- Hall's high/low context and Lewis's communication styles
- Role-play simulating interactions with American and Japanese tourists

Phase 3 (Sessions 5–10): Application through group presentations, case discussions, and final assignments.

- Group presentations analyzing academic articles and video clips
- Case study discussions on cultural conflicts in tourism
- Group final assignment: research-paper format, each group read at least 10 related documents, descriptive analysis, drawing on teaching, research, and professional experience

Assessment:

- Participation: 10%
- Group presentation: 30%
- Group final assignment: 60%

3.5. Data Collection

Data were collected from three sources:

1. **Course documents:** Syllabus, lecture slides, reading lists, video links, and assignment guidelines.
2. **Classroom observations:** Detailed field notes recorded during all 10 sessions. Observations focused on:
   - Student participation in discussions (frequency and quality of contributions).
   - Group presentations (content, delivery, and use of theoretical frameworks).
   - Peer feedback after watching video clips (quality and depth of comments).
   - Role-play performance (application of cultural theories to simulated scenarios).
3. **Group final assignments:** Eight group final assignments (approximately 5,000 words each) submitted by groups of 3–4 students. The assignments followed a research-paper format. Each group read at least 10 related documents and used a descriptive approach, drawing on teaching, research, and professional experience. Topics included:
   - Cultural diversity and international tourists
   - Sustainable cultural tourism in the Mekong Delta
   - AI in intercultural communication
   - Green tourism development
   - Ethnic minority tourism
   - Food culture in tourism
   - Tourist behavior across cultures
   - Heritage preservation and tourism

3.6. Data Analysis

Data were analyzed using thematic analysis (Braun & Clarke, 2006) following these steps:

1. Familiarization with data through repeated reading.
2. Generation of initial codes related to learning processes, theory application, and participation patterns.
3. Searching for themes across codes.
4. Reviewing and refining themes.
5. Defining and naming themes.
6. Producing the final report.

For group assignments, analysis focused on:

- Theoretical frameworks used (Hofstede, Hall, Lewis).
- Research topics and methodologies.
- Application of theory to practical contexts.
- Quality of analysis and recommendations.

For classroom observations, analysis focused on:

- Participation patterns (who speaks, how often, what they contribute).
- Group presentation quality (structure, content, delivery).
- Peer feedback quality (depth of analysis, use of theory).
- Changes in participation over the course of 10 sessions.

3.7. Ethical Considerations

Informed consent was obtained from all participants. Data were anonymized. Participants were informed of their right to withdraw at any time. The study was conducted in accordance with institutional research ethics guidelines.

3.8. Limitations

The study has several limitations:

- Small sample size (26 students, 8 group assignments).
- Single case design limits generalizability.
- Reliance on observational data, which may be subject to observer bias.
- Lack of pre-post measurement of multicultural competence.
- No individual interviews to capture in-depth personal perspectives.
- The age range of participants (15–50) is unusually broad for a graduate program; if 15 is accurate, it should be explained.

- The bilingual delivery (Vietnamese and English) may have influenced students' expression and writing quality.

4. FINDINGS AND DISCUSSION

4.1. RQ1: How Tourism Professionals Engage with Multicultural Theories

4.1.1. Participation in Classroom Discussions

Classroom observations revealed distinct patterns of participation across the 10 sessions:

Early sessions (1–2): Participation was initially hesitant. Most students listened passively, and only 3–5 students regularly contributed to discussions. When asked about cultural differences, students tended to share anecdotal experiences rather than theoretical analysis.

Middle sessions (3–4): Participation increased significantly after the introduction of Hofstede's dimensions and role-play activities. Students began connecting theory to their professional experiences. For example, when discussing Individualism vs. Collectivism, one hotel manager shared: "American guests always want to choose their own room, their own schedule. Korean guests ask me to decide for them. Now I understand why—it's not that they don't care, it's their culture."

Later sessions (5–10): Participation became more sophisticated. Students used theoretical terminology (e.g., "high-context," "uncertainty avoidance," "power distance") in their contributions. About 15–18 students regularly participated in discussions, with several students emerging as active discussants.

Observation note (Session 6): "*When discussing a video clip about a Korean tourist's complaint, students immediately analyzed it using Hofstede's UAI and Hall's high-context theory*. One student said*: 'The Korean guest did not complain directly because he is high-context. He expected the guide to notice his discomfort. But the guide was low-context and did not understand.' This level of analysis was not present in earlier sessions*."

4.1.2. Group Presentations

Group presentations were a key learning activity. Each group presented an academic article and a video clip on a cultural topic, followed by Q&A and feedback from peers and the instructor.

Observation of presentation quality:

- **Strong presentations (5 out of 8 groups):**
  - Clearly stated the theoretical framework (Hofstede, Hall).
  - Provided specific examples from Vietnamese tourism contexts.
  - Used visual aids effectively (slides, video clips).
  - Engaged the audience with questions.
  - Offered actionable recommendations.
- **Weaker presentations (3 out of 8 groups):**
  - Described content without theoretical analysis.
  - Used generic examples.
  - Read from slides rather than presenting.
  - Struggled to answer questions.

Example of strong presentation: One group presented on "Cultural Differences in Tourist Behavior: Korean vs. American Tourists in Vietnam." They used Hofstede's IDV and UAI dimensions to explain differences in travel preferences and service expectations. They then provided specific recommendations for Vietnamese tourism businesses, including providing detailed schedules for Korean tourists and flexible options for American tourists.

4.1.3. Peer Feedback After Video Clips

After watching video clips depicting cultural misunderstandings in tourism, students provided feedback and analysis. Observations revealed:

- **Initial feedback (Sessions 3–4):** Students focused on describing what happened (e.g., "*The tourist was angry because the service was slow*").
- **Later feedback (Sessions 5–10):** Students analyzed why it happened using theoretical frameworks (e.g., "*The American tourist was frustrated because he is low-context and expects direct communication. The Vietnamese service provider was high-context and avoided confrontation. This is a classic high-context vs. low-context misunderstanding.*").

Observation note (Session 7): "*After watching a video about a cultural conflict in a hotel, one student said: 'This is exactly what happens in my hotel. Korean guests don't complain directly—they just leave*

and write a bad review online. We need to train staff to read nonverbal cues and ask proactively.' This shows that students are applying theory to their own professional contexts."

4.2. RQ2: Application of Theory in Group Final Assignments

Analysis of eight group final assignments revealed that all groups used Hofstede's cultural dimensions as a primary framework. Hall's high/low context theory was used in 5 out of 8 assignments. No assignment used Lewis's model.

4.2.1. Theoretical Frameworks Used

Framework	Number of Assignments	Percentage
Hofstede	8	100%
Hall	5	62.5%
Lewis	0	0%

Most frequently used Hofstede dimensions:

- Individualism vs. Collectivism (IDV): 8 assignments (100%)
- Uncertainty Avoidance (UAI): 6 assignments (75%)
- Power Distance (PDI): 5 assignments (62.5%)
- Long-term Orientation (LTO): 3 assignments (37.5%)
- Masculinity vs. Femininity (MAS): 2 assignments (25%)
- Indulgence vs. Restraint (IVR): 1 assignment (12.5%)

4.2.2. Topics and Application Contexts

The eight group assignments covered diverse topics and professional contexts:

Assignment 1: Cultural Diversity and International Tourists

- Framework: Hofstede (IDV, UAI), Hall
- Application: Analyzed differences between Western and Asian tourists' service expectations. Recommended differentiated service strategies for hotels and restaurants.
- Professional relevance: Directly applicable to hotel and restaurant receptionists.

Assignment 2: Sustainable Cultural Tourism in the Mekong Delta

- Framework: Hofstede (LTO, IDV)
- Application: Examined how cultural values influence community participation in tourism planning. Recommended transparent benefit-sharing mechanisms.
- Professional relevance: Relevant for government tourism officers and community tourism managers.

Assignment 3: AI in Intercultural Communication

- Framework: Hofstede (PDI, UAI), Hall
- Application: Analyzed how AI tools (chatbots, translation apps) can support intercultural communication. Recommended AI solutions for hotels and tour companies.
- Professional relevance: Relevant for tour operators and hotel managers.

Assignment 4: Green Tourism Development

- Framework: Hofstede (LTO, IDV)
- Application: Examined how cultural values affect environmental attitudes and behaviors. Recommended culturally sensitive environmental communication.
- Professional relevance: Relevant for tour guides and destination managers.

Assignment 5: Ethnic Minority Tourism

- Framework: Hofstede (PDI, IDV)
- Application: Analyzed power dynamics between ethnic minority communities and tourism businesses. Recommended community empowerment strategies.
- Professional relevance: Relevant for government officers and tour operators.

Assignment 6: Food Culture in Tourism

- Framework: Hofstede (UAI, IDV)
- Application: Examined how cultural preferences affect food choices and service expectations. Recommended menu adaptations for different cultural groups.
- Professional relevance: Directly applicable to restaurant receptionists and F&B managers.

Assignment 7: Tourist Behavior Across Cultures

- Framework: Hofstede (all six dimensions), Hall
- Application: Compared Korean, American, and European tourist behavior in Vietnam. Recommended segmented marketing and service strategies.
- Professional relevance: Relevant for tour guides, hotel managers, and tour operators.

Assignment 8: Heritage Preservation and Tourism

- Framework: Hofstede (LTO, PDI)
- Application: Analyzed how cultural values influence heritage preservation attitudes. Recommended community-based heritage management.
- Professional relevance: Relevant for government officers and heritage site managers.

4.2.3. Quality of Application

Strong points:

- All assignments demonstrated understanding of Hofstede's dimensions.
- Most assignments connected theory to specific Vietnamese tourism contexts.
- Several assignments provided actionable recommendations.

Weak points:

- Some assignments remained descriptive rather than analytical.
- Few assignments integrated multiple theoretical frameworks.
- Recommendations were sometimes generic (e.g., "train staff") rather than specific (e.g., "provide written schedules in Korean with exact times for Korean guests").

Example of strong analysis (Assignment 7):

"*Korean tourists have high Uncertainty Avoidance (UAI=85) and low Individualism (IDV=18). They prefer structured tours with clear schedules and Korean-speaking guides. American tourists have low Uncertainty Avoidance (UAI=46) and high Individualism (IDV=91). They prefer flexible itineraries and independent exploration. Tourism businesses should segment their products accordingly: 'Structured Discovery' for Korean groups and 'Flexible Adventure' for American tourists*."

Example of weaker analysis (Assignment 4):

"*Green tourism is important for sustainable development. Tourists from different cultures have different attitudes toward the environment. We should train staff to be more environmentally friendly*."

4.3. RQ3: Effective Teaching Strategies

Based on classroom observations and analysis of group assignments, three teaching strategies emerged as particularly effective:

4.3.1. Case-Based Learning

Cases drawn from Vietnamese tourism contexts were most effective. Students could relate to examples involving Korean, Japanese, Chinese, and Western tourists. Real-world cases helped bridge theory and practice.

Observation note: "*When the instructor presented a case involving a Korean tourist's complaint about a delayed tour, students immediately began analyzing it using Hofstede's UAI and Hall's high-context theory. The discussion was animated, with students sharing similar experiences from their own workplaces*."

4.3.2. Group Presentations and Peer Feedback

Group presentations were highly effective in promoting deep learning. Students had to articulate their understanding, defend their analysis, and respond to questions. Peer feedback sessions after video clips encouraged critical thinking and application of theory.

Observation note: "During group presentations, students in the audience asked challenging questions. One student asked: *'You said Korean tourists prefer structured tours, but what about young Korean tourists? Are they different?' This led to a rich discussion about generational differences within cultures."*

4.3.3. Role-Play Activities

Role-play activities, particularly simulating interactions with American and Japanese tourists, helped students practice intercultural communication in a safe environment.

Observation note: *"During a role-play where a student played an American tourist complaining about slow service, the student playing the Vietnamese guide initially responded indirectly. After feedback from the instructor and peers, she tried a more direct approach: 'I understand your frustration. Let me explain what happened and how we will fix it.' This demonstrated learning and adaptation*."

4.4. Discussion

The findings contribute to understanding how practicing professionals learn multicultural competence. Key insights include:

1. **Professional experience is a double-edged sword:** It provides rich material for learning but can also create resistance to new ideas. Students who had strong prior beliefs about certain cultures sometimes struggled to accept theoretical explanations that contradicted their experience.
2. **Theory must be immediately applicable:** Adult learners in tourism need to see how theories solve real problems. Group assignments that required application to professional contexts were more engaging and produced better learning outcomes.
3. **Learning is social:** Peer discussion and group work enhanced learning. Students learned from each other's professional experiences and perspectives.
4. **Writing support is essential:** Many professionals lack recent academic writing experience. Scaffolded writing support (templates, workshops, peer review) significantly improved assignment quality.
5. **Application varies by professional role:** Different roles provide different opportunities and constraints for applying cultural theories. For example, CEOs could redesign tour products, while receptionists could adjust their communication styles.

These findings align with adult learning theory (Knowles, 1984), transformative learning theory (Mezirow, 1991), and research on group learning (Johnson & Johnson, 2009).

5. CONCLUSION

5.1. Summary of Findings

This study examined how 26 tourism professionals learned and applied multicultural theories in a graduate course. Key findings include:

1. **Participation patterns:** Student participation increased significantly over the 10 sessions, with students moving from anecdotal sharing to theory-based analysis.
2. **Group presentations:** Group presentations were effective in promoting deep learning, with stronger groups demonstrating clear theoretical frameworks and actionable recommendations.
3. **Theory application:** All group assignments used Hofstede's dimensions; 62.5% also used Hall's theory. No assignments used Lewis's model.
4. **Application contexts:** Students applied cultural theories to diverse professional contexts, including education, hotel management, restaurant service, tour guiding, tourism research, business strategy, and government policy.
5. **Teaching strategies:** Case-based learning, group presentations, peer feedback, and role-play were most effective.

5.2. Theoretical Contributions

The study contributes to:

- Understanding of adult learning in tourism education.
- Knowledge of how professionals develop multicultural competence.
- A typology of learner patterns in multicultural education.
- Evidence of theory-to-practice transfer in professional tourism contexts.
- Insights into the role of group work and peer learning in intercultural education.

5.3. Practical Implications

For educators:

- Use cases from local tourism contexts.
- Incorporate group presentations and peer feedback.
- Provide structured opportunities for reflection.

- Offer writing support and templates.
- Encourage peer learning and experience sharing.
- Recognize that students in different professional roles will apply learning differently.

For curriculum designers:

- Include practical application activities.
- Connect theory to students' professional contexts.
- Provide flexible learning options for working professionals.
- Include follow-up activities to support ongoing application.
- Consider extending course duration to allow deeper coverage of content.

For tourism businesses:

- Support staff in applying new knowledge.
- Create opportunities for sharing learning with colleagues.
- Recognize and reward cultural competence development.

5.4. Limitations and Future Research

Limitations include small sample size and single case design. Future research should:

- Conduct individual interviews to capture in-depth personal perspectives.
- Compare learning patterns across different cultural contexts.
- Track long-term application of multicultural competence.
- Evaluate the impact of training on service quality and customer satisfaction.
- Investigate how organizational contexts enable or constrain application.

5.5. Conclusion

Tourism professionals bring valuable experience to graduate education but need support in connecting theory to practice. By designing courses that leverage professional backgrounds while providing theoretical grounding and practical application, educators can develop the multicultural competence needed for Vietnam's growing tourism industry. This study provides insights and recommendations for achieving this goal.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to the 26 postgraduate students who participated in the graduate course *Multicultural Culture in Tourism Business*. Their active participation in classroom discussions, collaborative learning activities, and group research assignments made a valuable contribution to this study. Their diverse professional backgrounds and experiences in tourism education, travel services, hotel operations, and tourism management provided meaningful insights into how multicultural theories can be understood and applied in professional practice.

The authors also gratefully acknowledge the academic and institutional support that facilitated the implementation of the course and the development of this research paper. Special thanks are extended to the organizers of ***The 11th International Selçuk Congress on Scientific Research***, to be held in Konya, Türkiye, on November 6–7, 2026, for providing an international academic forum for sharing research findings and promoting scholarly exchange across disciplines and cultural contexts.

REFERENCES

Boud, D., Cohen, R., & Sampson, J. (Eds.). (2001). Peer learning in higher education: Learning from and with each other. Kogan Page.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. Journal of Studies in International Education, 10(3), 241–266.

Earley, P. C., & Ang, S. (2003). Cultural intelligence: Individual interactions across cultures. Stanford University Press.

Hall, E. T. (1976). Beyond culture. Anchor Books.

Hofstede, G. (2010). Cultures and organizations: Software of the mind (3rd ed.). McGraw-Hill.
Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. Educational Researcher, 38(5), 365–379.
Knowles, M. S. (1984). Andragogy in action: Applying modern principles of adult learning. Jossey-Bass.
Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.
Lewis, R. D. (2006). When cultures collide: Leading across cultures (3rd ed.). Nicholas Brealey.
Mezirow, J. (1991). Transformative dimensions of adult learning. Jossey-Bass.

FROM GOVERNANCE MECHANISMS TO SUSTAINABLE VALUE CREATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Fatine BENKIRANE
Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Achraf EL IDRISSI
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Mohamed AIT OUDRA
Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Samir ERRABIH
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
SALOUWA REMMAL
Faculty of science, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
ABDELLATIF TAGHZOUTI
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

ABSTRACT
The increasing complexity of environmental, social, and economic challenges has placed sustainable value creation at the center of organizational governance. In this context, governance mechanisms are increasingly viewed as essential instruments for aligning organizational decision-making with long-term sustainability objectives. However, the literature remains fragmented regarding the specific mechanisms through which governance contributes to the creation of sustainable value across economic, social, and environmental dimensions.
This study aims to examine how governance mechanisms contribute to sustainable value creation and to identify the main pathways through which this relationship is established. A systematic literature review is conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) framework. Relevant academic studies are identified, screened, and analyzed according to predefined inclusion and exclusion criteria. The literature is synthesized around four analytical dimensions: governance mechanisms, stakeholder-oriented processes, sustainability outcomes, and sustainable value creation.
The findings indicate that board characteristics, transparency and accountability mechanisms, stakeholder engagement, sustainability-oriented governance structures, and executive incentives play an important role in supporting sustainable value creation. Their contribution appears to operate through intermediate mechanisms such as stakeholder trust, sustainable innovation, organizational resilience, and improved sustainability performance. The study highlights the importance of integrating economic, social, and environmental objectives into governance processes and proposes an integrative perspective on the role of governance mechanisms in generating long-term sustainable value.
Keywords : Governance mechanisms; sustainable value creation; corporate governance; sustainability; stakeholders; ESG; systematic literature review; PRISMA.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FROM TRADITIONAL GOVERNANCE TO DATA-DRIVEN GOVERNANCE: TRANSFORMING PUBLIC DECISION-MAKING MECHANISMS IN THE DIGITAL ERA

Fatine BENKIRANE
Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Mohamed AIT OUDRA
Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Samir ERRABIH
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
EL HJAJBI Yasmine
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
TAMNINE Larbi
National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Abstract
Digital transformation is progressively reshaping the functioning of public organizations and the mechanisms through which decisions are made. The rise of digital technologies, the accumulation of massive amounts of data, and the development of analytical capabilities offer new opportunities to improve the design, management, and evaluation of public action. In this context, the shift from governance primarily based on experience, procedures, and available information toward more data-driven governance raises significant challenges related to information quality, transparency, coordination, accountability, and decision-making capacity.
This study aims to examine how data-driven governance transforms public decision-making mechanisms in the digital era, by identifying the main developments, opportunities, and limitations highlighted in the scientific literature. The research is based on a systematic literature review conducted according to the PRISMA protocol, which enables the identification, selection, assessment, and synthesis of relevant scientific studies addressing data-driven governance and public decision-making.
The findings of the review highlight a shift toward decision-making mechanisms increasingly based on the use, analysis, and sharing of data. This transformation contributes, in particular, to improved public management, enhanced anticipatory capacity, and stronger decision support. However, it also faces challenges related to data quality and interoperability, information protection, transparency of decision-making processes, and the digital competencies of public-sector actors. The study therefore emphasizes the need for data governance mechanisms capable of balancing decision-making performance with transparency and accountability.
Keywords: Data-driven governance; public decision-making; digital transformation; public data; digital governance; PRISMA.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF ETHANOLIC AND PETROLEUM ETHER EXTRACTS OF *EUPHORBIA POISONNI* PAX

Azaki Gideon Philip
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Tanko Ezekiel
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Dafa Samuel Terungwa; Suleiman Rahmat
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Department of Integrated Science, Umar Sanda Ahmadu College of Education Minna, Niger State
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-2532-9323
Okino Adeiza Isah
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Salihu Adamu Makanta
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Department of Chemistry and Biochemistry, SSBSR, Sharda University, Greater Noida, U.P. India
Shaba Elijah Yanda
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Nanotechnology Research Group, Africa Centre of Excellence for Mycotoxin and Food Safety, Federal University of Technology, PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
Fadipe Labake Ajoke
Department of Chemistry, Federal University of Technology PMB 65, Minna, Niger State, Nigeria;
James Daniel
Department of Chemistry and Biochemistry, SSBSR, Sharda University, Greater Noida, U.P. India

Abstract
The rise in the prevalence of antimicrobial resistance and oxidative stress related diseases, there has been interest in bioactive compounds that have antioxidant and antimicrobial properties. The phytochemical constituents, antibacterial and antioxidant properties of ethanolic and petroleum ether extract of *Euphorbia poisonni* Pax. were investigated. The plant extracts were subjected through phytochemical screening, agar well diffusion, MIC, MBC, DPPH radical-scavenging and FRAP assays. The yield of ethanolic extract was higher (34.2%) when compared to petroleum ether extract (13.6%) and the number of phytochemicals in the extract was higher especially phenolic. It had higher antibacterial activity with inhibition zones of 30.8-45.5 mm and lower MIC values and MBC values in comparison with the petroleum ether extract that showed an inhibition zone of 18.2-32.4 mm and high MIC and MBC values. Both ethanol and petroleum ether extracts exhibited dose-dependent antioxidant activity with the ethanolic extract being more active in the DPPH radical-scavenging and ferric-reducing capacities than the

petroleum ether extract, but less active than ascorbic acid. The higher phenolics content of the ethanolic extract could be attributed to these activities.

Keywords: Reactive oxygen species; *Staphylococcus*; phytochemicals; medicinal plants; diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), phenolics

ENERGY SOVEREIGNTY AND ECONOMIC AUTONOMY IN MOROCCO: STRATEGIC DEPENDENCIES, PRODUCTIVE VULNERABILITIES, AND TRANSITION PATHWAYS TOWARDS 2040

BOUHMIDE Maryame
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès – Morocco
BEN EL HAJ Fouad
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès - Morocco
ELHIRI Abderrazak
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès – Morocco

Abstract
Energy dependence exposes economies to international price volatility and geopolitical disruptions, affecting industrial competitiveness, agricultural productivity, and macroeconomic stability. In Morocco, strengthening energy sovereignty represents a strategic challenge for consolidating economic autonomy and reducing structural vulnerabilities. This paper examines how the energy transition can contribute to Morocco's economic sovereignty towards 2040. Based on a conceptual approach and a critical review of the literature, it analyzes the links between energy imports, domestic energy capacity, and the resilience of productive systems, with particular attention to the interdependencies between energy, water, agriculture, and industry. The paper develops an analytical framework to identify strategic priorities for reducing external dependence, strengthening national capabilities, and aligning the energy transition with long-term productive autonomy.
Keywords: energy sovereignty; economic sovereignty; energy dependence; productive resilience; Morocco 2040.

MOROCCO'S TECHNOLOGICAL, DIGITAL, AND GEOSTRATEGIC SOVEREIGNTY: STRATEGIC DEPENDENCIES, NATIONAL CAPABILITIES, AND ECONOMIC AUTONOMY TOWARDS 2040

BOUHMIDE Maryame
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès – Morocco
BEN EL HAJ Fouad
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès - Morocco
ELHIRI Abderrazak
Faculty of Economics and Management
Sidi Mohamed Ben Abdellah University - Fès – Morocco

Abstract
Digital transformation and accelerating technological innovation are reshaping economic power relations and the conditions under which states exercise sovereignty. For Morocco, technological dependencies, control over digital infrastructure, and geostrategic positioning represent major challenges to economic autonomy and national resilience. This paper examines the interactions between technological, digital, and geostrategic sovereignty from a forward-looking perspective towards 2040. Based on a conceptual approach and a critical review of the literature, it explores national innovation capabilities, digital infrastructure, control over strategic technologies, and external dependencies. It develops an analytical framework to identify pathways for strengthening domestic capabilities, reducing strategic vulnerabilities, and consolidating Morocco's economic autonomy in an international environment shaped by technological competition and geopolitical realignments.
Keywords: technological sovereignty; digital sovereignty; geostrategic sovereignty; strategic dependencies; Morocco 2040.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EVALUATION OF STUDENTS' SUPPORT SERVICES IN REMOTE AREA HIGHER EDUCATION INSTITUTES

Ms. Farzeel Gohar
Dr. Irfan Bashir
Dr. Afshan Naseem
Dr Abdul Malik
Dr Yasira Waqar
Dr Almas Shoaib
Dr Aisha Sami
Dr Fariha Gul
Dr Aqila Rafique
Dr Faisal Anees
Dr Sajid Masood
Dr Farhat Munir
Ms. Fareeha Sherazi
Dept of Education, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan

This study explored students' experiences of guidance and counseling (G&C) services at a public-sector university, focusing on the benefits these services offer during their academic journey and the challenges that affect their effective implementation in Pakistani universities. Guidance and counseling play a significant role in promoting academic achievement, emotional well-being, and career development. Their importance is particularly evident in geographically isolated and socio-economically disadvantaged regions such as Gilgit-Baltistan, where students may experience psychological stress, limited career opportunities, and academic adjustment difficulties because of geographical isolation, cultural constraints, and inadequate institutional support.

A qualitative case study approach was adopted, with Karakoram International University (KIU) selected as the research setting. Data were collected through semi-structured interviews with 12 participants, including students, faculty members, and heads of departments from different academic disciplines. Participants were recruited through convenience sampling. The findings highlighted several shortcomings in the provision of guidance and counseling services, including inadequate planning, a shortage of trained professionals, insufficient financial resources, and limited infrastructure. The study also revealed a lack of awareness among students, teachers, and university administrators regarding the importance of these services. Furthermore, limited administrative attention and institutional commitment hindered their effective implementation.

Other significant barriers included a lack of trust, teachers' reluctance to take on additional responsibilities, and shortages of human resources and essential facilities. The study recommends that universities develop comprehensive plans for guidance and counseling, invest in professional training, and strengthen institutional support mechanisms. Regular awareness sessions for students and staff, along with adequate funding, trained personnel, and appropriate infrastructure, are also necessary to improve the accessibility and effectiveness of these services. Such measures can help universities better address students' academic, psychological, and career-related needs, particularly in remote and underserved regions.

KEYWORDS Counseling and Guidance, Higher Education, University Students, underprivileged, Pakistan

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AGENTS FOR AUTOMATED CLINICAL DOCUMENTATION, PATIENT TRIAGE, HEALTHCARE WORKFLOW OPTIMISATION, AND INTELLIGENT INFORMATION MANAGEMENT ACROSS COMPLEX HOSPITAL ENVIRONMENTS

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
https://orcid.org/0000-0002-8910-2876
Olayemi Grace ABIMBOLA
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
https://orcid.org/0009-0000-0139-3481
Olajuwon Victor OLAYINKA
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.
https://orcid.org/ 0009-0007-9461-8870

Abstract
Artificial intelligence (AI) agents are increasingly being explored as technologies for improving clinical documentation, patient triage, healthcare workflow optimisation, and information management across complex hospital environments. Hospitals generate substantial volumes of clinical narratives, diagnostic reports, medication records, admission data, and operational information that require timely processing, accurate interpretation, and coordinated utilisation. However, fragmented digital systems, repetitive administrative tasks, manual documentation, and disconnected decision-making processes can contribute to operational delays, information inconsistencies, and inefficiencies in healthcare delivery. This study examines the integration of AI agents incorporating natural language processing, machine learning, large language models, workflow automation, and clinical decision-support mechanisms into hospital operations. A quantitative, cross-sectional research design is proposed to investigate the relationships between AI-agent integration and four operational dimensions: clinical documentation efficiency, patient triage performance, healthcare workflow optimisation, and intelligent information management. Data collection involves structured questionnaires administered to healthcare professionals engaged in clinical practice, hospital administration, health information management, and information technology services. Descriptive statistics, reliability analysis, Pearson correlation, and multiple regression are proposed to assess the relationships among the study variables. The analytical framework also considers the influence of system interoperability, data quality, workforce readiness, and organisational support on effective AI-agent implementation. Particular attention is given to patient privacy, algorithmic bias, cybersecurity, clinical accountability, and the reliability of automated recommendations. The study emphasises the importance of integrating AI agents within human-supervised clinical governance structures to support professional judgement, maintain patient safety, and promote responsible information management. The proposed framework provides a basis for systematically evaluating AI-agent integration and its potential contribution to operational efficiency, coordinated decision-making, and healthcare service delivery. Future empirical investigations should incorporate verified hospital data, multisite evaluations, validated performance indicators, and longitudinal assessments to establish the effectiveness, safety, and sustainability of AI-agent-supported healthcare operations.
Keywords: Artificial intelligence agents; Clinical documentation; Healthcare workflow optimisation; intelligent information management.

INTRODUCTION

Hospitals are increasingly dependent on digital technologies to manage clinical documentation, coordinate patient care, prioritise emergency cases, and maintain reliable information across interconnected departments. The growing complexity of healthcare delivery has increased the volume of information generated through consultations, laboratory investigations, diagnostic imaging, medication administration, patient admissions, discharge procedures, and administrative transactions. Although

electronic health records (EHRs) and hospital information systems have improved information accessibility, many healthcare environments continue to experience fragmented data management, repetitive documentation, inefficient communication, and difficulties coordinating activities across departments. These challenges create opportunities for artificial intelligence (AI) agents capable of interpreting information, executing authorised tasks, supporting decisions, and coordinating workflows within established operational rules. Unlike conventional automation systems that perform narrowly predefined actions, AI agents can combine information retrieval, natural language processing, reasoning mechanisms, and tool execution to support multistep activities while maintaining appropriate human oversight. Wang and Zhang (2024) reviewed the expanding applications of large language models in medicine and healthcare, highlighting their potential contributions to clinical communication, documentation, and medical information processing. Similarly, Meng et al. (2024) examined 550 selected studies concerning large language models in medicine and identified substantial research activity involving medical writing, diagnostic support, communication, and other healthcare applications. These developments suggest that AI agents could provide an important foundation for more coordinated hospital operations, although their practical effectiveness depends on clinical validation and responsible implementation. In clinical documentation, AI agents can assist with transforming consultation conversations into structured notes, identifying relevant information from patient histories, extracting clinical concepts, and preparing discharge summaries for professional verification. Balloch et al. (2024) investigated an ambient AI documentation tool and reported improvements in documentation quality and consultation efficiency within a simulated clinical setting, demonstrating the potential of AI-assisted documentation while highlighting the need to distinguish simulated performance from routine hospital outcomes. In patient triage, machine learning and natural language processing can support the classification of presenting symptoms, identification of urgent clinical indicators, and prioritisation of patients according to established clinical criteria. Porto et al. (2024) reviewed machine learning and natural language processing applications in emergency department triage, identifying opportunities to improve classification while recognising methodological and implementation challenges. Beyond individual clinical activities, AI agents may support healthcare workflow optimisation by coordinating appointments, monitoring investigation requests, identifying delayed processes, routing information to appropriate departments, and notifying authorised personnel when predefined operational conditions occur. Intelligent information management extends these capabilities by facilitating information retrieval, identifying inconsistencies, connecting relevant records, and improving the accessibility of clinically important information across hospital systems. Nevertheless, integrating autonomous or semiautonomous technologies into healthcare introduces important concerns involving patient confidentiality, inaccurate generated information, algorithmic discrimination, cybersecurity, interoperability, and professional accountability. These concerns are especially significant when AI-generated recommendations influence emergency prioritisation, clinical records, or time-sensitive decisions. Consequently, AI agents should be designed as supervised operational assistants with clearly defined permissions, audit trails, escalation procedures, and mechanisms for human review. The research problem addressed in this paper is the limited integration of these interconnected functions within a unified framework for evaluating AI-agent-supported hospital operations. Rather than treating documentation, triage, workflow coordination, and information management as isolated applications, the study proposes an integrated framework for examining their relationships with AI-agent adoption. The paper therefore aims to formulate a research methodology for assessing AI-agent integration and its potential associations with operational efficiency, triage performance, workflow coordination, and information management across complex hospital environments. Its contribution lies in connecting these operational dimensions within a common analytical framework, identifying implementation and governance requirements, and establishing a basis for future empirical investigation using verified hospital data.

LITERATURE REVIEW

AI Agents and Intelligent Hospital Information Systems

AI agents represent a developing category of computational systems capable of receiving information, interpreting operational conditions, selecting actions, and executing authorised tasks toward specified objectives. In healthcare, their potential extends beyond conventional rule-based automation because they

can combine natural language processing, machine learning, information retrieval, and connections to existing hospital software. Nevertheless, the term *AI agent* encompasses different technical arrangements, ranging from simple rule-driven assistants to systems that use large language models to plan and execute multistep activities. These systems should therefore not be treated as equally autonomous or equally reliable. Wang and Zhang (2024) reviewed large language models in medical and healthcare applications, describing their growing relevance to medical communication, clinical information processing, and decision support. Their review provides a useful foundation for understanding the language capabilities that can support healthcare agents. Similarly, Meng et al. (2024) examined a broad body of medical literature and identified applications involving medical writing, diagnosis, communication, and research support. Their findings indicate that language-based AI has become an important area of healthcare research, although the expansion of applications does not itself establish that autonomous agents improve hospital performance. Within hospital information systems, AI agents could function as an intelligent coordination layer connecting electronic health records, laboratory information systems, radiology systems, pharmacy applications, appointment platforms, and administrative databases. For example, an authorised agent could retrieve a pending laboratory request, determine whether its status exceeds a predefined threshold, notify the responsible clinical team, and document the notification in an audit log. Such a process differs from simply generating text because the agent must interact with authorised information sources and execute controlled operations. Nerella et al. (2024) reviewed transformers and large language models in healthcare, including their relevance to clinical natural language processing and electronic health record data. This literature supports investigating how language technologies can facilitate information extraction and clinical data utilisation. However, extracting meaningful information from clinical narratives remains challenging because medical language includes abbreviations, ambiguous expressions, contextual dependencies, and terminology that varies across institutions. An integrated hospital agent architecture should consequently combine language models with structured databases, clinical terminology services, deterministic rules, and permission-controlled software interfaces. Language models may interpret narrative information, while verified clinical systems should remain authoritative sources for patient identifiers, medication orders, laboratory results, and other consequential records. The literature therefore supports the conceptual relevance of AI-enabled information processing but does not justify assuming that a general-purpose language model can independently manage hospital operations safely. Research should distinguish agent functionality, actual system integration, levels of autonomy, and measurable operational outcomes. This distinction is essential when evaluating whether AI agents provide benefits beyond existing decision-support systems and conventional automation.

AI Agents for Automated Clinical Documentation

Clinical documentation is essential for continuity of care, communication among professionals, clinical decision-making, legal accountability, and hospital administration. Nevertheless, documenting consultations and updating electronic health records can consume substantial professional time. Documentation requirements may also interrupt patient interaction and contribute to administrative workload. AI-assisted documentation has therefore attracted interest as a means of transforming clinical conversations and other relevant information into structured records. Perkins et al. (2024) reviewed artificial intelligence applications for improving clinical documentation, examining the potential of these technologies to reduce documentation burdens and support more efficient clinical information management. Their review provides a basis for considering the technical and organisational conditions that influence adoption, including documentation accuracy and integration with existing clinical processes. Balloch et al. (2024) evaluated an ambient AI documentation tool using simulated outpatient consultations involving clinicians and actors. Their study reported higher documentation quality scores and consultations that were, on average, 26.3% shorter, without reducing patient interaction time. The findings suggest that ambient documentation tools may improve consultation processes under the study conditions. However, the simulated setting limits the extent to which these results can be generalised to complex, real-world hospital environments involving multiple specialties, competing clinical demands, and variable patient presentations. AI agents can extend documentation support by performing interconnected tasks. An agent could prepare a draft consultation note, identify missing sections, map relevant information to structured fields, retrieve pertinent historical records, and submit the draft for

professional approval. Other applications include summarising inpatient progress, preparing discharge documentation, organising referral information, and identifying discrepancies between narrative notes and structured records. Despite these possibilities, automatically generated documentation introduces risks. Speech-recognition errors, omitted clinical details, inaccurate medication information, and unsupported statements can compromise patient safety. Large language models may also generate plausible but incorrect information when source material is incomplete or ambiguous. Consequently, documentation quality should not be evaluated solely through speed or user satisfaction. A robust evaluation framework should examine factual accuracy, completeness, consistency with source records, correction frequency, and time required for review, and the proportion of drafts approved without substantial modification. High-risk information, including allergies, medication instructions, diagnoses, and treatment decisions, should receive appropriate verification. Patient confidentiality is equally important. Ambient recording and automated processing require transparent governance concerning consent, data storage, access permissions, retention, and secondary use. Hospitals should also maintain audit trails identifying the information used to generate notes and the professional responsible for approving them. The literature indicates that AI-assisted documentation has practical potential, but the evidence for particular tools must be interpreted in relation to study design and deployment conditions. Further research should determine whether integrating documentation agents into routine hospital operations reduces administrative workload without compromising accuracy, confidentiality, professional responsibility, or the quality of clinical encounters.

AI Agents for Intelligent Patient Triage

Patient triage involves determining the urgency of clinical assessment and allocating patients to appropriate levels of care. It is particularly important in emergency departments, where patient arrivals, available staff, diagnostic resources, and treatment capacity may fluctuate considerably. Conventional triage relies on clinical assessment, structured classification systems, and professional judgement. Although these approaches are indispensable, variability in interpretation, incomplete presenting information, and workload pressures can affect consistency and timeliness. Porto et al. (2024) systematically reviewed machine learning and natural language processing applications for emergency department triage. Their review examined how computational models could support patient classification and highlighted the potential for AI to assist with interpreting clinical information. Yi et al. (2025), whose systematic review of prospective studies appeared in the *Journal of Nursing Scholarship*, examined real-world prospective evaluations of AI-based emergency department triage. The included studies reported varying levels of performance, illustrating that accuracy depends on the model, classification task, study setting, and evaluation method. These findings caution against assuming that any single performance estimate applies across different hospitals. AI agents could support triage by extracting relevant information from presenting complaints, identifying predefined warning signs, comparing available observations with established clinical protocols, and presenting urgency recommendations to qualified staff. They could also identify missing information, recommend reassessment when specified conditions occur, and route cases to appropriate clinical teams. An agent connected to authorised operational systems might assist with monitoring waiting times and notifying staff when escalation criteria are met. However, triage is a safety-critical activity. A system that incorrectly classifies an unstable patient as low priority may contribute to delayed assessment, while excessive high-priority classifications may overwhelm limited emergency resources. Accordingly, evaluation should distinguish sensitivity for urgent cases, specificity, positive predictive value, negative predictive value, calibration, and rates of under triage and over triage. Patient populations also differ in age, language, disability, medical history, socioeconomic circumstances, and patterns of healthcare utilisation. A model developed using data from one institution may perform differently in another setting because of variations in documentation practices, disease prevalence, available resources, and patient characteristics. These differences create a need for external validation and subgroup performance assessment. AI-generated recommendations should not replace professional triage responsibility. Instead, agents should provide explainable recommendations, identify the information supporting their classifications, and defer uncertain or high-risk cases to qualified clinicians. Hospitals should establish procedures for overriding recommendations, reporting errors, and monitoring performance after deployment. The available literature supports further investigation into AI-

assisted triage but also demonstrates the importance of prospective validation and clinically meaningful outcome measures. Research should examine whether AI agents improve triage timeliness and consistency while maintaining safety across different patient groups and operational conditions.

AI Agents for Healthcare Workflow Optimisation

Healthcare workflow optimisation concerns the coordination of activities, resources, personnel, and information required to deliver timely and effective patient care. Hospital workflows span patient registration, consultation, diagnostic testing, treatment, medication administration, referral, admission, discharge, and follow-up. Delays can arise when departments operate independently, requests are overlooked, information is unavailable, or resources are not aligned with demand. Digital systems can improve coordination, but many conventional applications remain dependent on predefined rules and manual intervention. AI agents offer a potential mechanism for connecting workflow information with authorised operational actions. An agent could monitor pending diagnostic requests, identify tasks exceeding service targets, alert responsible staff, and update workflow dashboards. In appointment management, it could identify scheduling conflicts and propose alternatives for human approval. During discharge, it could check whether required documentation, medication reconciliation, referrals, and follow-up arrangements have been completed before notifying the responsible professional of outstanding tasks. Wang and Zhang (2024) discussed the expanding potential of large language models across healthcare activities, including communication and information processing. Such capabilities may help agents interpret unstructured requests and translate them into appropriate workflow actions. Nevertheless, language understanding alone is insufficient to establish safe operational automation. Workflow agents must also understand institutional rules, resource constraints, task dependencies, and access permissions. An important distinction exists between workflow efficiency and clinical effectiveness. Reducing the time needed to complete an administrative task does not necessarily improve patient outcomes if the process introduces errors, transfers work to another department, or creates inappropriate priorities. Workflow optimisation must therefore examine both local task performance and system-wide consequences. Relevant measures include turnaround time, time spent awaiting services, completion rates, duplicated requests, missed appointments, discharge delays, staff workload, and resource utilisation. Comparisons should account for differences in case complexity, staffing levels, hospital size, patient volumes, and service availability. Where possible, process-mining techniques can be used to reconstruct actual operational sequences from timestamped system records and identify bottlenecks. AI agents also require safeguards against inappropriate actions. An agent should not independently cancel essential clinical requests, alter treatment schedules, or reallocate scarce resources without appropriate authority. High-impact decisions should follow approved protocols and involve responsible personnel. Every action should be traceable, including the initiating event, data consulted, recommendation generated, action executed, and individual authorising consequential changes. Furthermore, operational workflows differ across hospitals. A solution designed for a large tertiary institution may not transfer directly to a smaller hospital with limited digital infrastructure or different staffing arrangements. Implementation should therefore begin with workflow mapping, stakeholder consultation, and controlled pilot testing. The literature supports investigating AI agents as coordination mechanisms rather than simply faster administrative tools. Evidence is needed to establish whether their integration reduces delays, improves task completion, and distributes workload more effectively without compromising patient safety or creating new operational bottlenecks.

Intelligent Information Management and Hospital Interoperability

Intelligent information management involves collecting, organising, retrieving, validating, and distributing information in ways that support clinical decisions and organisational coordination. Hospitals depend on information originating from electronic health records, laboratory systems, diagnostic imaging platforms, pharmacy applications, billing systems, and administrative databases. When these systems are poorly integrated, professionals may encounter incomplete patient histories, duplicated records, inconsistent terminology, and delays in obtaining essential information. AI agents could improve information accessibility by interpreting clinical questions, retrieving relevant records from authorised systems, summarising historical information, and identifying discrepancies requiring review. For

example, a clinician could request a summary of recent investigations, and an appropriately configured agent could retrieve relevant results, organise them chronologically, and identify missing information without independently establishing a diagnosis. Meng et al. (2024) identified medical writing, communication, and other information-intensive tasks among the applications of large language models in medicine. Nerella et al. (2024) likewise reviewed transformer-based approaches and their relevance to clinical natural language processing and electronic health record information. These reviews support the potential value of language technologies for processing clinical information, while leaving important questions about integration, reliability, and operational effectiveness. Interoperability is central to practical implementation. An AI agent cannot reliably coordinate hospital activities if it lacks authorised access to the necessary systems or cannot interpret their data consistently. Standardised interfaces, structured data formats, common clinical terminology, and appropriate identity-matching procedures are therefore essential. Where applicable, healthcare interoperability standards such as Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources can support structured exchange between compatible systems. Information quality must also be addressed. Patient records may contain outdated entries, conflicting medication lists, incomplete clinical histories, or errors introduced during previous documentation. An agent should distinguish verified source information from generated summaries and avoid presenting uncertainty as established fact. When records conflict, the system should identify the discrepancy and direct it to an authorised professional rather than silently selecting one version. Privacy and cybersecurity represent additional concerns. Hospital information can include highly sensitive clinical and personal details. AI-agent architecture should therefore incorporate role-based access controls, data minimisation, encryption, logging, secure authentication, and appropriate retention policies. Access to information should be restricted according to the user's legitimate responsibilities and the specific purpose of the requested operation. Intelligent information management should also support accountability. A well-designed system should record which information was retrieved, how summaries were produced, which source records informed recommendations, and whether a professional subsequently corrected or approved the output. Such traceability facilitates auditing, incident investigation, and continuous improvement. Consequently, the contribution of AI agents should be assessed not merely through their ability to generate summaries but through information retrieval accuracy, completeness, consistency, interoperability, access-control compliance, and user trust. Further research should investigate whether integrated agents improve the availability and usability of hospital information without increasing confidentiality risks or propagating errors across interconnected systems.

Implementation Challenges, Clinical Governance, and Human Oversight

The implementation of AI agents in complex hospital environments requires more than technical integration. Successful deployment depends on clinical safety, organisational readiness, workforce acceptance, appropriate regulation, information governance, and sustained evaluation. AI systems may produce incorrect summaries, misinterpret clinical language, retrieve inappropriate records, or execute actions based on incomplete information. Such errors become particularly consequential when an agent operates across several interconnected systems. Wang and Zhang (2024) discussed limitations and challenges associated with large language models in healthcare, reinforcing the need to address reliability and responsible integration. Meng et al. (2024) similarly identified limitations involving contextual understanding and the potential for excessive reliance on AI-generated outputs. These concerns are directly relevant to AI agents because systems that can execute multistep tasks may propagate an initial error into subsequent operational activities. A central requirement is the establishment of clear boundaries between assistance and autonomous decision-making. Hospitals should specify which actions an agent may perform independently, which require human approval, and which are prohibited. Retrieving a document or preparing a draft may be suitable for controlled automation, whereas changing medication orders, finalising diagnoses, or independently determining emergency treatment priorities requires much stronger safeguards and appropriate clinical authority. Human oversight should be supported by meaningful explanations, accessible source information, escalation mechanisms, and the ability to reverse inappropriate administrative actions. Merely requiring a clinician to approve every recommendation does not guarantee safety if the interface encourages automatic acceptance or hides uncertainty. Effective

oversight requires sufficient time, information, and professional authority to challenge the system. Algorithmic fairness is another important concern. Differences in patient demographics, language, disease prevalence, and historical access to healthcare can affect model performance. Hospitals should evaluate accuracy across relevant subgroups and investigate systematic differences in under triage, documentation quality, and access to services. Performance monitoring should continue after implementation because clinical practices, patient populations, and software components may change. Workforce readiness also influences adoption. Clinicians, nurses, health information managers, administrators, and information technology professionals need role-appropriate training. Staff should understand system capabilities, limitations, privacy obligations, escalation procedures, and methods for reporting errors. Their feedback can identify workflow problems that may not be apparent during technical testing. Organisational governance should assign responsibility for procurement, validation, access permissions, incident reporting, vendor oversight, and performance review. Data-processing agreements and technical controls should define how patient information is stored, transferred, retained, and accessed. Cybersecurity assessments should address unauthorised access, compromised credentials, malicious inputs, and inappropriate tool execution. Evaluation should proceed through staged testing, retrospective validation, controlled pilots, and prospective monitoring before broader deployment. Outcome measures should include clinical safety, operational efficiency, patient experience, equity, and staff workload. Overall, responsible AI-agent adoption requires a sociotechnical approach that combines technological capability with professional judgement, institutional accountability, and continuous quality improvement. The central research question is therefore not whether AI agents can automate hospital tasks, but under what conditions they can improve operations safely, equitably, and sustainably.

MATERIALS AND METHODS

The study adopts a quantitative, cross-sectional survey design to examine AI-agent integration across complex hospital environments. The target population comprises healthcare professionals involved in clinical documentation, patient triage, hospital administration, health information management, and information technology services. A sample of 300 healthcare professionals is proposed, with the final sample size determined through statistical power analysis and an appropriate sampling procedure. Data will be collected using a structured questionnaire measuring five constructs: AI-agent integration, clinical documentation efficiency, patient triage performance, healthcare workflow optimisation, and intelligent information management. Questionnaire items will be assessed using a five-point Likert scale, with higher scores indicating more favourable assessments of the measured constructs. Expert review and pilot testing will establish the instrument's clarity and suitability, while Cronbach's alpha will assess internal consistency. Descriptive statistics, Pearson correlation, and multiple linear regression will be employed to examine relationships between AI-agent integration and the four operational outcomes. Ethical approval, informed consent, confidentiality, and voluntary participation will be ensured throughout data collection and analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Integrated AI-Agent Performance across Hospital Operations

The analysis examines five interrelated constructs measured using a five-point Likert scale: AI-agent integration (AAI), clinical documentation efficiency (CDE), patient triage performance (PTP), workflow optimisation (WHO), and intelligent information management (IIM). Descriptive statistics, including means and standard deviations, provide an overview of respondents' assessments of AI-agent integration and its potential operational applications across complex hospital environments. Pearson correlation analysis examines the direction and strength of associations between AAI and each operational outcome, while multiple linear regression assesses the predictive relationships between AI-agent integration and clinical documentation efficiency, patient triage performance, workflow optimisation, and intelligent information management. Together, these analytical procedures provide a systematic basis for investigating how AI agents may support healthcare delivery, administrative coordination, and clinical information processing. In clinical documentation, AI agents incorporating natural language processing and large language models may assist with preparing structured clinical notes, extracting relevant information from patient records, summarising consultations, and organising documentation for

professional review. These applications may reduce repetitive administrative tasks and allow healthcare professionals to devote more time to direct patient care, although the accuracy and completeness of automated records require careful verification (Balloch et al., 2024; Meng et al., 2024; Wang & Zhang, 2024). In patient triage, AI-supported systems may organise presenting symptoms, identify potential warning signs, and support the prioritisation of patients according to clinical urgency. Such capabilities could strengthen decision support in emergency departments, provided that recommendations are validated against established clinical protocols and remain subject to professional judgement (Porto et al., 2024; Yi et al., 2025). AI agents may also improve workflow optimisation by coordinating appointments, directing tasks to appropriate departments, tracking pending activities, and alerting staff to delays or time-sensitive clinical processes. In intelligent information management, they may facilitate information retrieval, record classification, summarisation, and the exchange of relevant information across interconnected hospital systems. Nevertheless, successful implementation depends on reliable source data, system interoperability, adequate infrastructure, staff competence, organisational support, and clearly defined boundaries for agent autonomy. Cross-sectional survey findings can identify associations and predictive relationships but cannot independently establish causation or confirm sustained improvements in hospital performance. Self-reported assessments may also be affected by response bias, differences in professional experience, and common-method measurement. Consequently, perceived usefulness should not be treated as equivalent to demonstrated clinical effectiveness or patient safety. A comprehensive empirical evaluation should combine validated questionnaire responses with objective operational indicators, including documentation completion time, triage classification accuracy, referral-processing intervals, workflow completion rates, information-retrieval precision, and documented safety incidents. Independent clinical review should assess the accuracy of AI-generated content, while subgroup analyses may identify differences across professional roles, departments, and levels of technological readiness. Privacy protection, cybersecurity, auditability, accountability, and procedures for correcting erroneous outputs should also form part of the evaluation. Evidence obtained through these complementary measures would provide a stronger basis for determining the operational value, limitations, and implementation requirements of AI agents in complex hospital environments.

Figure 1: *Diverging stacked bar chart illustrating survey responses across the five interrelated operational constructs.*
The constructs measured on a five-point Likert scale include: AI-agent integration (AAI), clinical documentation efficiency (CDE), patient triage performance (PTP), workflow optimisation (WHO), and intelligent information management (IIM).

CONCLUSION

Artificial intelligence agents provide a promising approach to integrating clinical documentation, patient triage, workflow optimisation, and intelligent information management across complex hospital environments. By combining natural language processing, information retrieval, machine learning, and controlled task execution, these systems can support clinical and administrative activities that are often distributed across disconnected hospital information systems. In clinical documentation, AI agents can assist with preparing structured notes, summarising patient histories, identifying missing information, and reducing repetitive administrative tasks, subject to professional verification of clinical content. In patient triage, they can support the organisation of presenting complaints, identification of clinically relevant information, and prioritisation of cases according to established clinical protocols. For workflow optimisation, AI agents can facilitate task allocation, monitor pending activities, identify operational delays, coordinate authorised notifications, and improve visibility across departmental processes. Their application to intelligent information management can also support information retrieval, record summarisation, and the exchange of relevant clinical information across interconnected systems. However, the effectiveness of these applications depends on their technical reliability, clinical suitability, and integration into established hospital

procedures. Existing research on healthcare language models, AI-assisted documentation, and machine learning-based triage highlights opportunities for improving information processing and operational coordination while underscoring concerns about accuracy, contextual interpretation, implementation, and responsible use. Accordingly, an integrated AI-agent framework must incorporate system interoperability, data quality, patient confidentiality, cybersecurity, clinical accountability, and appropriate human oversight. Hospitals should establish clear boundaries between administrative tasks suitable for controlled automation and safety-critical activities requiring explicit professional authorisation. Evaluation should examine documentation accuracy, triage classification performance, escalation timeliness, workflow completion intervals, information-retrieval reliability, patient safety, and variations in performance across patient groups. The quantitative framework adopted in this study provides a basis for examining relationships between AI-agent integration and four operational outcomes: clinical documentation efficiency, patient triage performance, workflow optimisation, and intelligent information management. Establishing these relationships requires data collected from relevant healthcare professionals, validated measurement instruments, appropriate statistical procedures, and objective operational indicators where available. Prospective multisite investigations would further strengthen the evidence by examining performance across different hospital settings and over extended implementation periods. Practical implementation should begin with clearly defined use cases, controlled pilot studies, documented permissions, audit trails, and procedures for identifying, reporting, and correcting errors. Healthcare professionals should receive training that addresses system capabilities, limitations, appropriate use, and verification of AI-generated outputs. Institutional governance arrangements should specify responsibility for system monitoring, data protection, clinical escalation, and consequential decisions. Ultimately, AI agents should complement professional expertise rather than replace clinical judgement or institutional accountability. Their contribution to healthcare delivery will depend on demonstrable improvements in operational performance, safe integration with existing systems, equitable treatment of patients, and transparent human supervision. An evidence-based, clinically governed, and human-centred approach is therefore essential to establishing whether AI agents can deliver reliable and sustainable improvements in hospital information management, workflow coordination, and patient care.

FUTURE RESEARCH

Future research should empirically evaluate integrated AI-agent systems across multiple hospitals representing different institutional sizes, clinical specialties, patient populations, and levels of digital maturity. Researchers should collect verified operational data on clinical documentation time, medical-record accuracy, triage sensitivity, undertriage rates, workflow delays, information-retrieval reliability, and healthcare professionals' workload before and after implementation. Prospective comparative studies should assess agent-supported processes against established hospital practices while accounting for relevant patient characteristics, staffing levels, departmental workloads, and organisational differences. Investigations should also examine system interoperability, algorithmic fairness, patient confidentiality, cybersecurity, clinician acceptance, and the clinical and operational consequences of automation errors. Validated questionnaires should be combined with electronic health record audits, timestamped workflow records, independent clinical assessments, and documented safety incidents to strengthen measurement reliability. Researchers should report statistical uncertainty, missing data, subgroup differences, and adverse events transparently. Longitudinal evaluations and controlled implementation studies are particularly important for determining whether AI-agent integration delivers sustained improvements in operational efficiency, information management,

and patient care without compromising clinical safety, professional judgement, or institutional accountability.

References

Al Nazi, Z., & Peng, W. (2024). Large language models in healthcare and medical domain: A review. *Informatics, 11*(3), Article 57. https://doi.org/10.3390/informatics11030057

Almulihi, Q. A., Alquraini, A. A., Almulihi, F. A. A., Alzahid, A. A., Al Qahtani, S. S. A. J., Almulhim, M., Alqhtani, S. H. S., Alnafea, F. M. N., Mushni, S. A. S., Alaqil, N., Assiri, M. I. F., & Maghraby, N. H. (2024). Applications of artificial intelligence and machine learning in emergency medicine triage: A systematic review. *Medical Archives, 78*(3), 198-206. https://doi.org/10.5455/medarh.2024.78.198-206

Balloch, J., Sridharan, S., Oldham, G., Wray, J., Gough, P., Robinson, R., Sebire, N. J., Khalil, S., Asgari, E., Tan, C., Taylor, A., & Pimenta, D. (2024). Use of an ambient artificial intelligence tool to improve quality of clinical documentation. *Future Healthcare Journal, 11*(3), Article 100157. https://doi.org/10.1016/j.fhj.2024.100157 PubMed

Kaboudi, N., Firouzbakht, S., Eftekhar, M. S., Fayazbakhsh, F., Joharivarnoosfaderani, N., Ghaderi, S., Dehdashti, M., Mohtasham Kia, Y., Afshari, M., Vasaghi-Gharamaleki, M., Haghani, L., Moradzadeh, Z., Khalaj, F., Mohammadi, Z., Hasanabadi, Z., & Shahidi, R. (2024). Diagnostic accuracy of ChatGPT for patients' triage: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Academic Emergency Medicine, 12*(1), Article e60. https://doi.org/10.22037/aaem.v12i1.2384

Meng, X., Yan, X., Zhang, K., Liu, D., Cui, X., Yang, Y., & other co-authors. (2024). The application of large language models in medicine: A scoping review. *iScience, 27*(5), Article 109713. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109713

Nerella, S., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., Contreras, M., Siegel, S., Bumin, A., Silva, B., Sena, J., Shickel, B., Bihorac, A., Khezeli, K., & Rashidi, P. (2024). Transformers and large language models in healthcare: A review. *Artificial Intelligence in Medicine, 154*, Article 102900. https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102900

Perkins, S. W., Muste, J. C., Alam, T., Singh, R. P., et al. (2024). Improving clinical documentation with artificial intelligence: A systematic review. *Journal of AHIMA, 21*(2), 1d. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11605373/

Porto, B. M., et al. (2024). Improving triage performance in emergency departments using machine learning and natural language processing: A systematic review. *BMC Emergency Medicine, 24*, Article 219. https://doi.org/10.1186/s12873-024-01135-2

Wang, D., & Zhang, S. (2024). Large language models in medical and healthcare fields: Applications, advances, and challenges. *Artificial Intelligence Review, 57*, Article 299. https://doi.org/10.1007/s10462-024-10921-0

Yi, N., Baik, D., Baek, G., & other co-authors. (2025). The effects of applying artificial intelligence to triage in the emergency department: A systematic review of prospective studies. *Journal of Nursing Scholarship, 57*(1), 105-118. https://doi.org/10.1111/jnu.13024

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MUCOADHESIVE MICROSPHERES OF FAMOTIDINE FOR GASTRO-RETENTIVE DELIVERY: DEVELOPMENT AND IN VITRO-IN VIVO EVALUATION

M.NEEVATHA
M.Pharm First year, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-2812-9435
Dr.R.SRINIVASAN
DEAN AND PROFESSOR
Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1931-3328
Dr.R.DEVI
GUIDE AND PROFESSOR
Department of Pharmaceutics, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6554-6771

ABSTRACT

Famotidine, an H -receptor antagonist, has a short half-life, low oral
absorption window in the upper gastrointestinal tract. This study aimed to develop mucoadhesive microspheres of famotidine for gastro-retentive delivery and evaluate them in vitro and in vivo. Microspheres were prepared by ionotropic gelation using sodium alginate with mucoadhesive polymers and calcium chloride as cross-linker. They were characterised for particle size, yield, entrapment efficiency, swelling, mucoadhesion, FTIR, DSC and SEM. Release was studied in 0.1 N HCl and fitted to kinetic models. The optimised batch was assessed in vivo for gastric retention and pharmacokinetic performance against plain drug, and for stability. The microspheres were spherical and free-flowing, with high entrapment efficiency and strong mucoadhesion. No significant drug-polymer interaction was observed. Release was sustained for about 10-12 hours through a diffusion-controlled mechanism. In vivo studies showed prolonged gastric residence, improved bioavailability and good in vitro-in vivo correlation. These mucoadhesive microspheres are a promising gastro-retentive controlled-release system for famotidine.

Keywords: Famotidine; mucoadhesive microspheres; gastro-retentive; sodium alginate; in vitro-in vivo correlation

THE INTEGRATED SCIENTIFIC APPRAISAL OF ANTICANCER VACCINE PHARMACOLOGY AND PHARMACOTHERAPY: EVIDENCE-BASED THERAPEUTIC EFFICACY, TOXICITY PROFILING, PHARMACOVIGILANCE, IMMUNOSAFETY, MOLECULAR PRECISION, THERAPEUTIC BENEFIT–RISK ASSESSMENT, CLINICAL OUTCOME OPTIMIZATION, PATIENT-CENTERED CARE, CLINICAL RESPONSE, SURVIVAL OUTCOMES, TREATMENT MONITORING AND REAL-WORLD EFFECTIVENESS

Nodar Sulashvili
Nana Gorgaslidze
Diego Rada Fernandez de Jauregui
Maka Buleishvili
Mariam Darbaidze
Nato Alavidze
Marika Sulashvili
Irina Imerlishvili
Marina Giorgobiani
Ketevani Gabunia
Vira Kravchenko
Olga Shapoval
Igor Seniuk
Nana Mdinaradze
Nino Abuladze
Giorgi Pkhakadze
Magda Davitashvili
Zaza Khachiperadze

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Affiliated Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist - Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Scientific Researcher of Yerevan State Medical University After Mkhitar Heratsi, Yerevan, Republic of Armenia; Former Scientific Researcher and Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224
2. PhD and BSc in Pharmacy, MSc in Research Methodology in Health Sciences, Professor, Pharmacy Faculty, University of the Basque Country, Spain. https://orcid.org/0000-0002-9109-1088
3. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American

University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473

4. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Georgian International University GIU, Vice Rector of Georgian International University GIU; Professor of Georgian National University SEU; Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0005-0275-4222

5. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia; Professor of Faculty of Health Sciences at East European University (EEU), Head of The Medical Doctor Degree Program of Faculty of Healthcare Sciences at East European University (EEU), Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924

6. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262

7. PhD, Doctor of Law, Professor, Rector of BAU International University Batumi; Professor of BAU International University Batumi; Professor at the International Black Sea University, Batumi-Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0008-6862-7025

8. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227

9. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;

10. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-6335-2490

11. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; https://orcid.org/0000-0002-1971-2863

12. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-733

MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Quality Assurance Department at David Aghmashenebeli National Defence Academy; Invited Lecturer of Department of Human Normal Anatomy at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.

13. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-2189-7470

14. MD, MPH, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor – Head of the School of Public Health at David Tvildiani Medical University, Director of Public Health Institute of Georgia (PHIG) Tbilisi, Georgia; Member of the United Nations Secretary General's Independent Accountability Panel, Geneva, Switzerland; President, Accreditation San Frontières, Paris, France, Lviv Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-7609-4515

PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician at Georgian Academy of Ecological Sciences, Professor at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533

15. MD, PhD(c), Ass. Professor, Vice-Dean of Medical School at Georgian American University (GAU), Ass. Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Tbilisi, Georgia.

ABSTRACT

Anticancer vaccines represent an increasingly sophisticated domain of translational oncology in which immunological engineering, molecular pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision medicine, and systematic safety surveillance converge to redefine therapeutic strategies for malignant disease. Their contemporary development encompasses prophylactic and therapeutic vaccine platforms, tumor-associated antigen and tumor-specific antigen targeting, neoantigen-directed formulations, peptide- and protein-based constructs, nucleic-acid technologies, dendritic-cell platforms, viral vectors, whole-cell approaches, and personalized vaccine architectures designed to stimulate durable and clinically meaningful antitumor immunity. The pharmacological characterization of these interventions requires an integrated understanding of antigen processing and presentation, innate immune activation, adaptive immune priming, T-cell receptor engagement, cytokine signaling, immunological memory, tumor-microenvironment remodeling, and mechanisms underlying immune escape. Within this context, anticancer vaccine pharmacotherapy cannot be evaluated exclusively through conventional measures of tumor response; rather, therapeutic efficacy must be interpreted through multidimensional clinical, immunological, pharmacological, and patient-centered endpoints. This scientific appraisal examines the evolving pharmacology and pharmacotherapeutic applications of anticancer vaccines through an evidence-based medicine framework, emphasizing therapeutic efficacy, immunogenicity, immunosafety, toxicity profiling, pharmacovigilance, molecular precision, therapeutic benefit–risk assessment, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Particular consideration is given to the pharmacodynamic determinants of vaccine-mediated antitumor activity, including antigen specificity, epitope selection, cross-presentation, dendritic-cell maturation, T-cell expansion, cytotoxic lymphocyte functionality, immune-checkpoint interactions, and modulation of immunosuppressive cellular networks within the tumor microenvironment. The pharmacotherapeutic implications of combining anticancer vaccines with immune-checkpoint inhibitors, targeted molecular agents, conventional cytotoxic chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, and other multimodal treatment strategies are critically contextualized, with emphasis on synergistic mechanisms, therapeutic sequencing, treatment individualization, and potential pharmacological antagonism. An essential component of contemporary anticancer vaccine evaluation is systematic characterization of treatment-associated toxicity. Vaccine-related adverse events may range from transient local and systemic inflammatory manifestations to clinically significant immune-mediated toxicities affecting multiple organ systems. Consequently, immunosafety assessment requires rigorous differentiation between expected pharmacological effects, immune-related adverse events, treatment-emergent complications, disease-associated symptoms, and toxicities attributable to combination regimens. Pharmacovigilance therefore assumes a central role in identifying previously unrecognized safety signals, characterizing adverse-event patterns, evaluating causality, estimating incidence and severity, monitoring temporal relationships, and determining clinically relevant benefit–risk profiles across diverse patient populations. Integration of spontaneous reporting systems, active surveillance, pharmacovigilance databases, clinical-trial safety datasets, electronic health records, pharmacoepidemiological methodologies, and real-world evidence can strengthen post-marketing and post-authorization safety evaluation. From an

evidence-based medicine perspective, interpretation of anticancer vaccine effectiveness requires critical synthesis of randomized controlled trials, prospective clinical investigations, observational studies, systematic reviews, meta-analyses, translational immunology research, and real-world clinical evidence. Particular attention should be directed toward heterogeneity in patient selection, tumor histology, disease stage, molecular characteristics, antigenic landscape, previous treatment exposure, immune status, vaccine platform, dosing strategy, adjuvant composition, endpoint definitions, and duration of follow-up. Such heterogeneity substantially influences therapeutic response and complicates direct comparison among vaccine technologies. Precision-oriented pharmacotherapy consequently requires integration of genomic, transcriptomic, proteomic, immunological, and clinical information to identify patients most likely to derive meaningful benefit while minimizing avoidable treatment-related harm. Clinical outcome optimization represents the ultimate objective of anticancer vaccine pharmacotherapy. Assessment should therefore encompass objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, duration of response, recurrence-free survival, quality of life, functional status, treatment tolerability, and patient-reported outcomes. Continuous treatment monitoring and longitudinal pharmacovigilance may facilitate early recognition of inadequate response, emerging resistance, cumulative toxicity, or clinically important immune dysregulation. Furthermore, real-world effectiveness studies are indispensable for determining whether efficacy demonstrated under controlled trial conditions translates into routine clinical practice across heterogeneous healthcare environments. The anticancer vaccines constitute a rapidly evolving pharmacotherapeutic paradigm whose scientific evaluation requires convergence of molecular pharmacology, clinical immunology, evidence-based medicine, precision oncology, toxicology, pharmacovigilance, and outcomes research. Their future clinical utility will depend not solely upon enhanced immunogenicity but upon rational pharmacological design, reproducible therapeutic efficacy, individualized patient selection, rigorous toxicity mitigation, continuous safety surveillance, clinically meaningful outcome assessment, and integration with complementary oncological modalities. A comprehensive benefit–risk framework incorporating mechanistic evidence, clinical trial data, pharmacovigilance signals, and real-world effectiveness is therefore essential for transforming innovative anticancer vaccine technologies into safe, durable, patient-centered, and clinically consequential therapeutic interventions.

Keywords: Anticancer Vaccines; Cancer Pharmacotherapy; Clinical Pharmacology; Pharmacovigilance; Evidence-Based Medicine.

INTRODUCTION

Anticancer vaccines have emerged as one of the most intellectually complex and translationally consequential components of contemporary cancer therapeutics, occupying an increasingly important interface among molecular oncology, tumor immunology, pharmacology, pharmacotherapy, precision medicine, clinical epidemiology, toxicology, and pharmacovigilance. Unlike conventional cytotoxic anticancer agents, which primarily exert direct antiproliferative or cytotoxic effects on malignant cells, anticancer vaccines are designed to manipulate the host immune system so that endogenous immune mechanisms recognize, expand against, and eliminate neoplastic cells. This conceptual transition from pharmacologically imposed tumor-cell injury toward biologically orchestrated immune-mediated tumor control has fundamentally altered the therapeutic architecture of oncology. Anticancer vaccination is therefore not merely an extension of conventional immunotherapy but represents a pharmacologically distinctive strategy in which antigen selection, molecular

formulation, delivery technology, innate immune stimulation, antigen presentation, adaptive immune activation, immunological memory, tumor microenvironmental interactions, and patient-specific biological characteristics collectively determine therapeutic performance.

The scientific rationale underlying anticancer vaccines derives from the fundamental premise that malignant transformation generates molecular abnormalities capable of distinguishing tumor cells from normal tissues. These abnormalities may involve tumor-specific mutations, aberrantly expressed proteins, overexpressed differentiation antigens, cancer-testis antigens, viral oncogenic antigens, altered post-translational products, abnormal glycosylation patterns, fusion proteins, and other molecular structures that can potentially function as immunological targets. The identification and exploitation of such antigens have progressively shifted cancer vaccine development from relatively empirical approaches toward increasingly sophisticated molecularly informed interventions. The contemporary field incorporates peptide vaccines, recombinant protein vaccines, DNA and messenger RNA platforms, viral-vector vaccines, dendritic-cell vaccines, whole-cell vaccines, tumor lysate formulations, nanoparticle-based systems, and personalized neoantigen vaccines. Each platform possesses distinct pharmacological characteristics affecting antigen stability, biodistribution, cellular uptake, antigen processing, innate immune activation, pharmacodynamic response, immunogenicity, tolerability, and clinical effectiveness.

The development of anticancer vaccines must consequently be interpreted within the broader evolution of cancer pharmacology. Modern oncology increasingly recognizes that therapeutic activity cannot be understood exclusively through drug concentration, receptor occupancy, enzymatic inhibition, or direct tumor-cell killing. Immunotherapeutic pharmacology introduces additional dimensions of pharmacodynamic complexity, including immune-cell recruitment, antigen presentation, clonal expansion, T-cell differentiation, cytokine production, immune-checkpoint signaling, immune-cell exhaustion, regulatory-cell suppression, myeloid-cell polarization, and remodeling of the tumor microenvironment. The pharmacological effect of an anticancer vaccine is therefore mediated through a dynamic biological cascade rather than through a single molecular target. Consequently, traditional pharmacological concepts such as dose–response relationships, exposure–effect relationships, therapeutic windows, and pharmacokinetic variability must be complemented by immunological biomarkers, cellular pharmacodynamics, molecular determinants of antigenicity, and longitudinal measures of immune response.

The increasing sophistication of vaccine engineering has also transformed the concept of antigen selection. Earlier cancer vaccines frequently targeted broadly expressed tumor-associated antigens, creating challenges associated with insufficient immunogenicity, antigen heterogeneity, and potential on-target effects against normal tissues. The emergence of high-throughput sequencing and computational immunology has enabled systematic identification of tumor-specific mutations and neoantigens that may be uniquely expressed by malignant cells. Personalized neoantigen vaccine development represents a particularly important advancement because it allows vaccine composition to be adapted to the molecular architecture of an individual patient's tumor. Whole-exome sequencing, RNA sequencing, immunopeptidomic analyses, bioinformatic prediction, major histocompatibility complex binding assessment, and immunogenicity modeling can collectively contribute to antigen prioritization. This molecular personalization potentially increases tumor specificity while reducing the limitations associated with shared antigen targets.

Nevertheless, molecular precision does not automatically translate into therapeutic efficacy. Antigen expression may vary spatially and temporally within tumors, and intratumoral heterogeneity may permit subclonal populations lacking the targeted antigen to survive selective

immune pressure. Furthermore, tumors can develop sophisticated mechanisms of immune evasion involving defective antigen presentation, downregulation of major histocompatibility complex molecules, impaired interferon signaling, recruitment of regulatory T cells, expansion of immunosuppressive myeloid populations, secretion of inhibitory cytokines, metabolic competition, and expression of immune-checkpoint ligands. These mechanisms illustrate why vaccine-induced antigen-specific T-cell responses may not necessarily produce durable clinical tumor control. Anticancer vaccine pharmacotherapy must therefore be considered within the biological ecosystem of the tumor rather than as an isolated intervention.

The tumor microenvironment represents one of the principal determinants of vaccine pharmacological activity. A vaccine can generate potent circulating antigen-specific lymphocytes, yet these cells may fail to adequately infiltrate malignant tissue, become functionally exhausted after entering the tumor, or encounter profound immunosuppressive conditions that limit cytotoxic activity. Hypoxia, nutrient deprivation, abnormal vascularization, suppressive metabolites, transforming growth factor-β signaling, regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, and inhibitory checkpoint pathways can collectively impair immune-mediated tumor elimination. Accordingly, contemporary pharmacotherapy increasingly investigates combination approaches designed to overcome these barriers. Anticancer vaccines may be combined with immune-checkpoint inhibitors, targeted therapies, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, cytokine-based approaches, and other immunomodulatory interventions. Such combinations potentially enhance antigen release, improve antigen presentation, reverse immunosuppression, increase T-cell infiltration, or restore effector-cell functionality.

The pharmacotherapeutic significance of these combinations extends beyond the possibility of additive or synergistic efficacy. Combination regimens may substantially modify toxicity profiles and complicate causal attribution of adverse events. Immune-checkpoint inhibitors, for example, can produce immune-related adverse events involving the skin, gastrointestinal tract, liver, endocrine organs, lungs, cardiovascular system, nervous system, kidneys, and other tissues. When vaccines are administered concurrently with other immunomodulatory treatments, the distinction between vaccine-associated reactions, checkpoint inhibitor-associated immune toxicity, disease manifestations, infectious complications, and unrelated clinical events may become increasingly difficult. Consequently, rigorous pharmacovigilance is indispensable for establishing reliable safety profiles.

Toxicity evaluation constitutes an essential component of anticancer vaccine pharmacology rather than a secondary consideration performed after efficacy assessment. Conventional vaccine-associated reactions may include injection-site inflammation, fever, fatigue, myalgia, headache, chills, and transient systemic inflammatory symptoms. However, more complex immunological toxicities may occur depending on the vaccine platform, adjuvant system, antigenic target, treatment combination, disease context, and individual host characteristics. The increasing use of potent immune-modulating combinations further expands the spectrum of clinically relevant adverse events. A comprehensive safety framework must therefore distinguish expected pharmacological effects from serious adverse reactions, immune-mediated toxicities, hypersensitivity phenomena, cytokine-associated manifestations, organ-specific immune injury, and events emerging during prolonged treatment or follow-up.

Pharmacovigilance provides the methodological infrastructure necessary to monitor these safety dimensions throughout the entire therapeutic lifecycle. Clinical trials provide essential information regarding adverse-event frequency and severity, but their ability to identify rare, delayed, population-specific, or clinically unexpected toxicities remains limited by sample size, duration, inclusion criteria, and controlled treatment environments. Post-authorization

pharmacovigilance therefore becomes particularly important when anticancer vaccines transition from experimental settings into heterogeneous real-world populations. Spontaneous adverse-event reporting systems, active surveillance programs, electronic health records, registries, insurance claims, pharmacovigilance databases, observational cohorts, and pharmacoepidemiological studies can complement randomized evidence and improve detection of emerging safety signals.

The interpretation of pharmacovigilance data in oncology is methodologically challenging. Patients with advanced cancer frequently receive multiple medications simultaneously, possess substantial comorbidity burdens, and experience disease-related symptoms that may resemble treatment-associated adverse events. Polypharmacy, concomitant chemotherapy, radiation, corticosteroids, antimicrobial therapy, analgesics, supportive medications, and other immunomodulatory agents further complicate causal attribution. A temporal association between vaccination and an adverse event does not necessarily establish causality. Robust pharmacovigilance therefore requires systematic assessment of temporal relationships, biological plausibility, alternative explanations, dechallenge and rechallenge information where available, background event rates, dose and exposure patterns, concomitant therapies, and reproducibility across independent data sources.

Evidence-based medicine provides the conceptual framework for integrating these heterogeneous forms of evidence. The clinical value of anticancer vaccines should not be determined solely by immunological surrogate endpoints or preliminary signals of tumor regression. Rather, therapeutic evaluation requires critical examination of randomized controlled trials, comparative effectiveness studies, prospective observational research, systematic reviews, meta-analyses, translational studies, pharmacovigilance evidence, and real-world data. The hierarchy of evidence remains relevant, but oncology-specific methodological considerations require careful interpretation of endpoint selection, patient heterogeneity, trial design, comparator selection, follow-up duration, treatment crossover, biomarker stratification, and statistical power.

Clinical response represents only one dimension of anticancer vaccine effectiveness. Objective response rate, complete response, partial response, stable disease, progression-free survival, overall survival, duration of response, disease-free survival, recurrence-free survival, metastasis-free survival, and cancer-specific survival provide different perspectives on therapeutic performance. For immunotherapeutic interventions, conventional response criteria may sometimes inadequately capture delayed or atypical patterns of response. Immune-related response phenomena, transient tumor enlargement, inflammatory infiltration, or delayed disease control may complicate interpretation of imaging-based endpoints. Consequently, clinical trial methodology for anticancer vaccines increasingly requires integration of radiological, molecular, immunological, and patient-reported outcomes.

Patient-centered outcomes are similarly important. A treatment capable of producing a measurable immunological response but causing substantial toxicity, functional impairment, or deterioration in quality of life may possess limited clinical utility. Conversely, a therapy associated with moderate tumor control but durable survival, acceptable toxicity, preserved functionality, and meaningful quality-of-life benefits may provide considerable patient value. Contemporary pharmacotherapy therefore increasingly embraces benefit–risk assessment that incorporates both traditional efficacy endpoints and patient-centered outcomes. Treatment monitoring should encompass symptom burden, functional status, treatment adherence, immune-related adverse events, laboratory abnormalities, imaging findings, biomarker trajectories, and patient-reported experiences.

The principle of therapeutic benefit–risk optimization is particularly relevant to anticancer vaccine development because the therapeutic objective extends beyond maximizing immune activation. Excessive or poorly controlled immune activation can produce toxicity without necessarily increasing antitumor efficacy. An effective vaccine must therefore generate sufficiently strong and durable tumor-specific immunity while preserving immunological tolerance toward healthy tissues. This balance depends on antigen selection, formulation, adjuvant properties, route of administration, dosing schedule, combination strategy, patient immune status, and tumor biology. The therapeutic window of an anticancer vaccine is consequently determined not only by systemic exposure but also by the quality and specificity of the induced immune response.

Clinical pharmacology provides an important bridge between experimental vaccine development and patient-centered pharmacotherapy. Pharmacological characterization should consider formulation, dose, administration route, dosing interval, immunogenicity, pharmacodynamic biomarkers, immune-cell kinetics, antibody and T-cell responses, potential drug interactions, and the influence of concomitant medications. Corticosteroids and other immunosuppressive agents, for example, may modify vaccine-induced immune responses, while other anticancer therapies may alter antigen release or immune-cell activation. Understanding these interactions is necessary for rational treatment sequencing and individualized therapeutic planning.

Precision oncology further extends this framework by integrating genomic and immunological information into treatment selection. The molecular characteristics of a tumor may determine the abundance and quality of potential neoantigens, antigen-processing capacity, mutational burden, HLA genotype, immune-cell infiltration, checkpoint expression, and susceptibility to immune-mediated elimination. These variables can influence both probability of response and risk of toxicity. Personalized anticancer vaccines consequently represent an important manifestation of precision pharmacotherapy, although their clinical implementation remains constrained by manufacturing complexity, production time, computational uncertainty, tissue sampling requirements, regulatory considerations, cost, and equitable access.

The pharmacoeconomic dimension should not be overlooked. Highly individualized vaccine production may require sophisticated sequencing, bioinformatic analysis, peptide or nucleic-acid synthesis, quality control, and specialized clinical infrastructure. These processes may increase manufacturing costs and prolong the interval between diagnosis and treatment initiation. The economic value of such interventions must therefore be evaluated alongside clinical effectiveness, survival benefit, quality-adjusted survival, toxicity avoidance, healthcare utilization, manufacturing expenditure, and long-term disease control. Health-system capacity and reimbursement structures may ultimately influence the accessibility and real-world implementation of personalized cancer vaccination.

Regulatory science also plays a major role in determining the translational pathway of anticancer vaccines. The increasing diversity of platforms creates challenges concerning manufacturing consistency, potency assays, quality attributes, product characterization, release criteria, pharmacological comparability, and post-marketing safety monitoring. Personalized products present additional regulatory complexities because each patient's vaccine may differ according to their individual tumor-derived antigenic profile. Standardization of manufacturing and validation procedures is therefore essential for ensuring reproducibility, quality, and patient safety.

The intersection of anticancer vaccines with evidence-based medicine also emphasizes the importance of clinically meaningful biomarker development. Immunogenicity biomarkers may demonstrate that a vaccine induces antigen-specific immune responses, but a biomarker is clinically valuable only if it reliably correlates with meaningful outcomes. Candidate biomarkers

include tumor mutational burden, neoantigen burden, HLA genotype, T-cell receptor clonality, circulating immune-cell populations, cytokine signatures, immune-checkpoint expression, tumor-infiltrating lymphocytes, circulating tumor DNA, gene-expression profiles, and measures of antigen-specific cellular immunity. Their integration into pharmacological decision-making may improve patient selection and facilitate adaptive treatment strategies.

The concept of treatment monitoring is consequently expanding from conventional laboratory and radiological surveillance toward multidimensional longitudinal assessment. Monitoring may include molecular residual disease, circulating tumor DNA, immune-cell dynamics, vaccine-induced T-cell responses, antibody responses, imaging biomarkers, and patient-reported outcomes. Such information may permit earlier recognition of therapeutic benefit or failure and potentially guide modifications in treatment strategy. In this respect, anticancer vaccine pharmacotherapy is increasingly becoming a dynamic rather than static therapeutic process.

Real-world effectiveness represents another crucial component of the evidence architecture. Clinical trials typically enroll carefully selected patients under standardized conditions, whereas routine oncology practice encompasses older patients, individuals with multiple comorbidities, patients receiving polypharmacy, diverse ethnic and genetic backgrounds, variable disease stages, and heterogeneous healthcare environments. Real-world evidence can therefore reveal differences in effectiveness, adherence, toxicity, treatment discontinuation, healthcare utilization, and survival that may not be apparent in controlled trials. Linking clinical registries, pharmacovigilance systems, electronic medical records, genomic datasets, and patient-reported outcomes could provide a more comprehensive assessment of anticancer vaccine performance across the therapeutic lifecycle.

The evolution of anticancer vaccines also raises important questions regarding therapeutic sequencing. Whether vaccination should precede, accompany, or follow immune-checkpoint inhibition, chemotherapy, radiation, targeted therapy, or cellular immunotherapy may substantially affect treatment outcomes. Chemotherapy and radiation can promote immunogenic cell death and increase tumor antigen availability, potentially creating favorable conditions for vaccine-mediated immune priming. Conversely, immunosuppressive effects of particular treatments may diminish vaccine efficacy. Checkpoint blockade may enhance the functionality of vaccine-induced T cells, but may also increase the probability of immune-mediated toxicity. Rational sequencing therefore requires mechanistic understanding rather than empirical combination of multiple therapies.

The concept of immunological memory is another distinguishing characteristic of anticancer vaccination. Unlike therapies that primarily produce transient pharmacological suppression of tumor proliferation, vaccines aim to establish durable immune surveillance capable of recognizing recurrent or residual malignant cells. The clinical significance of this mechanism may be particularly important in the prevention of recurrence and maintenance of long-term disease control. Nevertheless, the durability of vaccine-induced immunity depends on antigen persistence, memory-cell development, tumor evolution, immune escape, and the continued functional integrity of the host immune system. Long-term follow-up is consequently indispensable for evaluating whether immunological responses translate into durable clinical benefit.

Cancer evolution itself creates an important pharmacological challenge. Tumors are genetically and phenotypically dynamic, and immune-mediated selection pressure may favor expansion of antigen-negative or immune-resistant clones. This phenomenon suggests that successful vaccination strategies may require targeting multiple antigens simultaneously rather than relying on a single epitope. Multi-antigen vaccines, personalized neoantigen combinations, and adaptive vaccination strategies could potentially reduce the probability of immune escape. The

pharmacological design of such approaches must balance antigenic breadth with manufacturing feasibility, immunological competition, safety, and the potential for off-target effects.

Another critical issue concerns the distinction between immunogenicity and clinical efficacy. A vaccine can induce robust antigen-specific T-cell responses without producing significant tumor regression or survival improvement. This discrepancy may reflect ineffective trafficking, tumor-cell antigen loss, immune exhaustion, suppressive microenvironmental conditions, insufficient antigen density, defective antigen presentation, or inadequate pharmacological synergy with other treatments. Therefore, the development of anticancer vaccines should not rely exclusively on immunological surrogate endpoints. Translational programs must demonstrate a coherent chain of evidence linking molecular design to immune activation, tumor engagement, clinical response, survival, and patient-centered benefit.

The pharmacological evaluation of anticancer vaccines must also account for host-specific determinants. Age, sex, genetic background, immune competence, nutritional status, prior infections, microbiome composition, previous anticancer treatments, concomitant medications, autoimmune predisposition, and comorbidities may modify immune responsiveness. These variables introduce additional heterogeneity into clinical outcomes and highlight the importance of individualized treatment models. Pharmacogenomic and immunogenomic approaches may eventually contribute to more precise prediction of vaccine responsiveness and toxicity.

The microbiome represents an increasingly relevant component of this research landscape. Intestinal microbial composition can influence immune activation, inflammatory signaling, antigen-presenting cell function, and responsiveness to immunotherapy. Antibiotic exposure and other factors capable of altering microbial ecology may consequently influence therapeutic outcomes. Although the clinical implications require further validation, integration of microbiome-associated variables into pharmacological research may ultimately enhance understanding of interindividual differences in anticancer vaccine effectiveness.

The expanding application of artificial intelligence and computational biology further contributes to vaccine development. Machine-learning algorithms can assist in neoantigen prediction, epitope ranking, HLA-binding estimation, immunogenicity modeling, patient stratification, biomarker identification, adverse-event signal detection, and outcome prediction. Artificial intelligence may also facilitate pharmacovigilance by analyzing large volumes of clinical narratives, electronic health records, spontaneous reports, and molecular datasets. However, algorithmic predictions require rigorous external validation, transparency, bias assessment, and clinical interpretability before they can be incorporated into routine therapeutic decision-making.

The integration of pharmacovigilance with artificial intelligence and real-world evidence could provide a particularly powerful approach to post-treatment safety surveillance. Automated signal detection may identify unusual adverse-event clusters more rapidly than conventional manual review, while advanced causal-inference methods may help distinguish genuine treatment-associated signals from background disease events. Nevertheless, computational approaches cannot eliminate fundamental limitations in data quality, reporting bias, confounding, missingness, coding inconsistency, and incomplete clinical information. Human pharmacological and clinical expertise therefore remains essential for interpreting safety signals.

From a clinical pharmacotherapy perspective, the central challenge is to transform highly sophisticated vaccine technologies into interventions that produce reproducible, clinically meaningful, and sustainable patient benefit. This requires integration across the entire translational continuum—from antigen discovery and molecular engineering through preclinical pharmacology, clinical development, comparative effectiveness evaluation, toxicity characterization, regulatory assessment, pharmacovigilance, and post-market real-world monitoring. Fragmented evaluation of these components can produce misleading conclusions. A

vaccine may demonstrate excellent molecular specificity but inadequate clinical efficacy; impressive immunogenicity but unacceptable toxicity; favorable trial results but limited real-world applicability; or strong short-term response without durable survival benefit. Comprehensive scientific appraisal is therefore essential.

The evidence-based evaluation of anticancer vaccines should consequently be multidimensional. Therapeutic efficacy must be examined alongside safety, tolerability, immunogenicity, pharmacological plausibility, patient selection, treatment adherence, survival, quality of life, and health-system feasibility. This approach corresponds to the contemporary movement toward value-based and patient-centered oncology, in which treatment decisions increasingly depend upon integrated assessments of clinical benefit, harm, patient preferences, resource utilization, and long-term outcomes.

An additional dimension concerns ethical considerations surrounding personalized therapeutic development. Individualized vaccine manufacturing requires access to high-quality tumor tissue, molecular sequencing, computational infrastructure, specialized production, and clinical expertise. Inequalities in access to these resources could create disparities in availability of advanced immunotherapeutic interventions. Ethical implementation therefore requires attention to informed consent, genomic privacy, data governance, equitable access, transparency regarding uncertain benefit, and appropriate communication of treatment risks. These considerations are particularly relevant as anticancer vaccines increasingly incorporate individualized molecular information.

The future of anticancer vaccine pharmacology will likely depend upon increasingly integrated therapeutic architectures rather than isolated vaccine administration. Next-generation approaches may combine personalized neoantigen targeting with checkpoint blockade, tumor-microenvironment modulation, targeted molecular therapy, radiotherapy, cellular immunotherapy, nanotechnology, and adaptive treatment monitoring. Such approaches may produce more robust and durable antitumor immunity by simultaneously addressing antigen recognition, immune activation, tumor infiltration, immune suppression, and immune escape. The pharmacological challenge will be to optimize these interactions while maintaining a clinically acceptable therapeutic window.

Accordingly, the scientific appraisal of anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy requires a conceptual framework that integrates molecular precision with clinical pragmatism. The field must move beyond the binary distinction between efficacy and toxicity toward a comprehensive assessment of therapeutic value. Such assessment encompasses the magnitude and durability of antitumor response, immunological specificity, survival outcomes, quality of life, adverse-event burden, pharmacovigilance signals, treatment feasibility, patient preferences, cost-effectiveness, and real-world applicability.

Within this context, evidence-based medicine functions not simply as a method for ranking clinical studies but as an integrative epistemological framework for determining whether emerging vaccine technologies provide reliable and clinically meaningful benefit. High-quality randomized evidence must be interpreted in conjunction with mechanistic pharmacology, translational immunology, safety science, observational research, pharmacovigilance, and real-world effectiveness. This integrated approach is especially important because anticancer vaccines occupy a rapidly evolving therapeutic domain in which scientific innovation may progress faster than conventional evidence-generation pathways.

The present scientific appraisal therefore conceptualizes anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy as an interdisciplinary continuum extending from molecular antigen identification to long-term population-level safety and effectiveness. Particular emphasis is placed on evidence-based therapeutic efficacy, toxicity profiling, immunosafety,

pharmacovigilance, molecular precision, therapeutic benefit–risk assessment, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Such a framework recognizes that the ultimate value of anticancer vaccination cannot be established through immunological activity alone. Instead, successful translation requires demonstrable convergence among mechanistic validity, pharmacological effectiveness, clinical efficacy, safety, tolerability, durable outcomes, and patient-centered benefit.

In this evolving therapeutic landscape, anticancer vaccines have the potential to contribute to a paradigm shift from nonspecific tumor destruction toward precisely directed, immunologically mediated, and biologically adaptive cancer treatment. Their ultimate clinical significance, however, will depend upon the capacity of investigators and clinicians to integrate increasingly complex molecular technologies with rigorous pharmacological evaluation and robust clinical evidence. The convergence of precision oncology, clinical pharmacology, immunotherapy, toxicology, pharmacovigilance, evidence-based medicine, and real-world outcomes research provides the scientific foundation for this transition. A comprehensive understanding of these interconnected domains is therefore essential for optimizing anticancer vaccine development, improving therapeutic selection, minimizing preventable harm, strengthening safety surveillance, and translating innovative vaccine platforms into durable improvements in cancer outcomes.

The contemporary pharmacological interpretation of anticancer vaccination increasingly requires recognition that the therapeutic agent is not simply the administered vaccine formulation but the complex biological response elicited by that formulation within a particular host and tumor ecosystem. This distinction has profound implications for pharmacological research, because conventional approaches to drug development frequently assume a relatively direct relationship between administered dose, systemic exposure, molecular target engagement, and clinical effect. In cancer vaccination, however, the administered product initiates a multistage immunobiological process involving tissue uptake, innate sensing, antigen processing, presentation through major histocompatibility complex pathways, costimulatory signaling, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector-cell activation, and immunological memory. Each stage introduces potential biological variability and therefore creates an additional determinant of therapeutic response. Consequently, the pharmacological characterization of anticancer vaccines requires a broader conception of pharmacodynamics that incorporates cellular, molecular, immunological, and clinical dimensions.

This complexity is particularly relevant when comparing different vaccine platforms. Peptide-based vaccines may provide highly defined antigenic components and relatively straightforward manufacturing characteristics but may depend strongly on appropriate antigen presentation and host HLA compatibility. Protein-based approaches can provide broader antigenic exposure but may require potent adjuvantation to achieve adequate immunogenicity. Nucleic-acid platforms, including messenger RNA and DNA technologies, offer considerable flexibility for encoding multiple antigens and may facilitate rapid adaptation to individualized tumor profiles. Viral-vector approaches can generate substantial innate and adaptive immune stimulation but introduce considerations related to vector immunity, pre-existing immunity, and repeated administration. Dendritic-cell-based strategies attempt to manipulate professional antigen-presenting cells directly and may provide individualized biological specificity, while whole-cell approaches can theoretically present a broader antigenic repertoire. These differences demonstrate that the term “anticancer vaccine” encompasses pharmacologically heterogeneous interventions that cannot appropriately be evaluated using a single universal efficacy or safety paradigm.

The pharmacological formulation itself can substantially influence therapeutic performance. Adjuvants are particularly important because they determine the magnitude, duration, and qualitative characteristics of innate immune activation. Appropriate adjuvant selection may enhance antigen uptake, dendritic-cell maturation, cytokine signaling, and T-cell priming. However, excessive innate stimulation may increase inflammatory toxicity without producing proportional improvements in antitumor activity. The optimization of adjuvant systems therefore represents a classical pharmacological problem involving the balance between potency and tolerability. The route of administration similarly influences antigen distribution, local immune-cell recruitment, lymphatic trafficking, and systemic exposure. Intradermal, subcutaneous, intramuscular, intranodal, intravenous, and other administration strategies may produce substantially different pharmacodynamic profiles. Comparative evaluation of administration routes should therefore consider both immunological response and clinically relevant outcomes.
Dose optimization represents another unresolved dimension. The relationship between vaccine dose and immune response may not conform to a conventional monotonic dose–response curve. Increasing antigen quantity may improve immunogenicity within a certain range but may eventually produce diminishing returns, excessive inflammation, immune regulation, or other undesirable biological effects. In addition, the optimal dose may vary according to antigen format, adjuvant composition, vaccine platform, patient immune status, tumor burden, previous therapies, and treatment combination. These considerations reinforce the need for adaptive dose-finding methodologies that incorporate immunological pharmacodynamic biomarkers rather than relying exclusively on conventional toxicity-based dose escalation.
The temporal dimension of anticancer vaccine pharmacology is equally significant. Immune priming may require substantial time before measurable clinical effects become apparent. Vaccine-induced T-cell expansion, differentiation, migration, and functional maturation may occur over periods that differ considerably from the pharmacokinetic profiles of conventional anticancer drugs. Accordingly, short-term assessment may underestimate therapeutic potential, whereas prolonged follow-up is necessary to establish durability. The kinetics of immune response may also differ among patients, with some individuals demonstrating rapid expansion of antigen-specific lymphocytes and others requiring repeated vaccination or combination treatment before clinically meaningful immune activation develops. Longitudinal pharmacodynamic assessment is therefore indispensable.
The relationship between tumor burden and vaccine responsiveness also warrants consideration. Advanced malignancies may generate a profoundly immunosuppressive environment characterized by extensive tumor-associated inflammation, regulatory-cell expansion, metabolic dysfunction, and impaired antigen presentation. High tumor burden may consequently represent both a biological and pharmacological barrier to effective vaccination. Earlier intervention, minimal residual disease settings, adjuvant treatment following definitive tumor resection, and recurrence prevention may therefore represent particularly important clinical contexts for therapeutic vaccination. In these settings, the vaccine may encounter lower levels of immunosuppressive tumor burden and may be capable of eliminating microscopic residual disease before extensive immune escape occurs.
This possibility has stimulated increasing interest in the use of anticancer vaccines as components of adjuvant and maintenance strategies. The pharmacological rationale is based on the premise that vaccination may establish durable immune surveillance capable of detecting residual malignant cells after surgery, radiation, or systemic therapy. Such an approach shifts the objective from treating established tumor masses toward preventing recurrence. However, demonstrating benefit in this setting requires long follow-up periods, large patient populations, reliable molecular residual-disease measures, and careful control of confounding variables.

Recurrence-free survival, disease-free survival, and overall survival may therefore provide more informative endpoints than short-term radiological response.

The concept of molecular residual disease has particular relevance to this emerging paradigm. Circulating tumor DNA and other molecular biomarkers may identify persistent malignant clones that remain undetectable through conventional imaging. If validated, these biomarkers could provide an opportunity to identify patients at particularly high risk of recurrence and potentially target vaccination to individuals with demonstrable residual disease. Integration of molecular residual-disease monitoring with vaccine-induced immune-response measurements could generate a pharmacologically informed feedback system in which treatment intensity and duration are adapted according to biological evidence rather than predetermined schedules alone.

Another important consideration is antigen evolution under therapeutic immune pressure. Tumor cells are not static targets; they undergo continuous genomic and phenotypic adaptation. A vaccine directed against a specific antigen may exert selective pressure favoring tumor subpopulations with reduced or absent expression of that antigen. This phenomenon highlights the potential value of polyepitope and multi-antigen vaccine strategies. Simultaneous targeting of multiple tumor-specific antigens could theoretically reduce the probability that a single immune-escape event will restore tumor growth. However, increasing antigenic complexity may also create challenges in manufacturing, immunodominance, competition among epitopes, and individualized dose optimization.

Neoantigen pharmacology therefore requires a particularly sophisticated understanding of tumor genomics and immune recognition. Not every tumor mutation generates an immunogenic peptide, and not every predicted neoantigen is naturally processed, presented, and recognized by T cells. Computational prediction may identify candidate epitopes based on sequence alterations and predicted HLA binding, but biological validation remains essential. The distinction between predicted antigenicity and clinically demonstrated immunogenicity is fundamental. Future vaccine platforms may increasingly incorporate experimental validation of antigen processing, presentation, T-cell receptor recognition, and functional cytotoxicity before individualized vaccine composition is finalized.

The HLA system introduces another major determinant of individual response. Because antigen presentation is HLA-restricted, the same tumor mutation may produce different immunological consequences among individuals with different HLA genotypes. Personalized vaccine development must therefore account for HLA diversity when selecting candidate epitopes. This requirement illustrates how pharmacogenomic principles intersect with immunotherapy: patient genotype can influence the probability that a particular molecular target will become pharmacologically actionable. HLA-informed antigen selection may consequently become a central component of precision anticancer vaccine design.

The interaction between vaccination and immune-checkpoint regulation further illustrates the necessity of combination pharmacology. Vaccine administration can expand tumor-specific T-cell populations, but these cells may encounter inhibitory pathways within the tumor microenvironment. Checkpoint inhibitors may restore effector-cell functionality by interrupting inhibitory signaling. Conversely, checkpoint blockade may increase the activity of vaccine-primed lymphocytes and potentially amplify therapeutic benefit. However, enhanced immune activation may also increase immune-mediated toxicity. Thus, the pharmacological rationale for combination therapy must simultaneously consider mechanistic complementarity, treatment sequencing, cumulative immune activation, pharmacodynamic interactions, and safety.

Chemotherapy may also influence vaccine effectiveness through mechanisms extending beyond direct tumor-cell killing. Certain cytotoxic agents can induce immunogenic cell death, alter tumor antigen availability, reduce immunosuppressive cell populations, or modify the tumor

microenvironment. Nevertheless, other agents may produce lymphodepletion or immunosuppression that compromises vaccine-induced responses. The pharmacological consequences are therefore drug-specific and schedule-dependent. Similarly, radiation therapy may increase antigen release and modify tumor immunogenicity but may also generate tissue inflammation and toxicity. Rational combination strategies should therefore be based on mechanistic evidence rather than assumptions that all anticancer therapies are inherently complementary.

Targeted therapies may provide additional opportunities for combination with vaccination. Molecularly targeted agents can alter oncogenic signaling pathways, tumor-cell phenotype, antigen expression, or immune-cell interactions. Some targeted treatments may increase tumor immunogenicity or reduce immunosuppressive signaling, thereby creating a more favorable environment for vaccine-induced immunity. Conversely, pathway inhibition may alter immune-cell metabolism or function in ways that influence therapeutic response. Detailed pharmacological investigation is therefore necessary to identify combinations in which molecular targeting and immune activation reinforce rather than interfere with each other.

The role of radiological evaluation also deserves reconsideration in immunotherapeutic research. Conventional response assessment assumes that reductions in measurable tumor volume correspond relatively directly to treatment efficacy. Immunotherapy can produce more complex patterns because immune-cell infiltration and inflammatory responses may transiently increase lesion size or metabolic activity. This phenomenon creates the possibility of misclassifying effective therapy as disease progression. Immunotherapy-specific response assessment methodologies may therefore be necessary, particularly when vaccine therapy is combined with checkpoint inhibition. Nevertheless, modified response criteria should be applied cautiously and integrated with clinical status and complementary biomarkers.

Patient-reported outcomes provide another essential dimension of therapeutic assessment. The burden of cancer treatment extends beyond measurable tumor parameters and includes fatigue, pain, anxiety, functional impairment, treatment inconvenience, psychological distress, financial toxicity, and social consequences. Anticancer vaccine programs, especially individualized platforms, may involve repeated procedures, specialized laboratory testing, and prolonged monitoring. The practical burden of therapy should therefore be incorporated into comprehensive benefit–risk assessments. A technologically sophisticated treatment cannot be regarded as clinically optimized if its implementation substantially compromises patient well-being without corresponding therapeutic benefit.

The issue of adherence is similarly important. Unlike some conventional oral therapies, vaccine regimens may involve scheduled administration visits, laboratory monitoring, imaging, and repeated immunological assessments. Delays in treatment may result from manufacturing, logistical limitations, intercurrent illness, or healthcare-access barriers. These real-world factors can influence effectiveness independently of biological efficacy. Real-world pharmacotherapy research should therefore distinguish biological treatment efficacy from effectiveness under actual conditions of care.

The development of robust pharmacovigilance systems is particularly important as increasingly complex vaccine combinations move toward broader clinical implementation. Traditional spontaneous reporting systems may be insufficient for detecting subtle or delayed immunological adverse events. Active surveillance strategies capable of linking treatment exposure with longitudinal laboratory, clinical, and imaging data may provide substantially greater sensitivity. Sentinel systems, patient registries, electronic medical-record analysis, and prospective cohort surveillance can complement spontaneous reporting and improve detection of uncommon but clinically consequential events.

Signal detection must also account for competing risks and background incidence. Patients with advanced cancer already have elevated risks of thrombosis, infection, organ dysfunction, constitutional symptoms, and other adverse outcomes. An observed event following vaccine administration may therefore reflect the natural history of the disease rather than treatment toxicity. Appropriate comparator populations and epidemiological methods are essential for distinguishing treatment-associated risk from background risk. Self-controlled designs, matched cohort analyses, case–control studies, and other causal-inference approaches may provide complementary evidence when randomized safety comparisons are unavailable.

The concept of adverse-event severity should similarly be interpreted in clinical context. An event classified as severe according to standardized terminology may have different clinical implications depending on duration, reversibility, organ involvement, treatment requirements, and impact on quality of life. Pharmacovigilance assessment should therefore incorporate seriousness, severity, expectedness, reversibility, preventability, and clinical consequences. Particularly important are adverse events leading to hospitalization, permanent disability, treatment discontinuation, or death.

Preventability is an underappreciated dimension of anticancer vaccine safety. Some treatment-related harms may be minimized through appropriate patient selection, pre-treatment screening, monitoring protocols, dose adjustment, treatment interruption, early recognition, and evidence-based management. Pharmacovigilance should therefore not merely document adverse events but contribute to strategies for preventing avoidable harm. This shifts pharmacovigilance from passive surveillance toward an active component of clinical risk management.

Therapeutic drug monitoring in the conventional sense may have limited applicability to many vaccine platforms, but pharmacodynamic monitoring can serve an analogous function. Measurements of antigen-specific T-cell frequency, cytokine profiles, immune-cell phenotypes, antibody responses, circulating tumor DNA, and other biomarkers may provide information regarding biological exposure and treatment effect. The integration of these measures could permit pharmacologically informed treatment adaptation and potentially identify nonresponders earlier than conventional clinical endpoints.

The future development of anticancer vaccine pharmacotherapy will likely depend increasingly on systems-level integration. Genomic information, immunological measurements, clinical characteristics, pharmacological exposures, safety data, and patient-reported outcomes can be integrated into multidimensional models of treatment response. Such models may enable clinicians to identify patients with favorable biological conditions for vaccination, select appropriate antigens, determine optimal combinations, predict toxicity, and monitor treatment dynamically. However, implementation will require rigorous validation and attention to interpretability, data quality, and clinical feasibility.

The scientific importance of anticancer vaccines therefore extends beyond the development of another class of cancer medicines. They represent a broader transformation in therapeutic philosophy in which the pharmacological objective is to direct, educate, and sustain the host immune response against malignant disease. This approach requires an expanded definition of pharmacological efficacy encompassing molecular specificity, immune activation, tumor control, durability, safety, and patient-centered benefit. It also requires closer integration between pharmacology and disciplines traditionally regarded as separate, including immunology, genomics, bioinformatics, epidemiology, toxicology, and health outcomes research.

The successful clinical translation of anticancer vaccines will depend upon whether their molecular sophistication can be converted into reproducible improvements in meaningful clinical outcomes. The field must therefore continue to move beyond proof-of-concept demonstrations of immunogenicity toward rigorous evidence concerning survival, recurrence prevention, quality

of life, toxicity, and real-world effectiveness. Such progression requires methodological consistency, transparent reporting, adequately powered clinical trials, long-term safety surveillance, standardized outcome definitions, and integration of mechanistic and clinical evidence.

Within this scientific framework, anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy should be understood as a continuously evolving discipline in which therapeutic innovation and evidence generation must progress simultaneously. Molecular precision must be accompanied by clinical validation; immune activation must be balanced against immunotoxicity; pharmacological efficacy must be evaluated alongside patient-centered outcomes; and promising clinical-trial findings must ultimately be tested through real-world effectiveness and pharmacovigilance. The convergence of these dimensions provides the foundation for developing anticancer vaccines that are not only technologically innovative but also pharmacologically rational, clinically effective, operationally feasible, and demonstrably safe.

BACKGROUND

The development of anticancer vaccines is rooted in the broader scientific recognition that the immune system possesses intrinsic capacity to identify and eliminate cells exhibiting abnormal molecular characteristics. Cancer, however, is characterized by complex mechanisms of immune evasion that enable malignant cells to escape immune surveillance, establish immunosuppressive microenvironments, and progressively acquire phenotypic characteristics that reduce susceptibility to immune-mediated destruction. Anticancer vaccination seeks to exploit the antigenic differences between malignant and healthy tissues by enhancing the specificity, magnitude, persistence, and functional competence of antitumor immune responses. The contemporary pharmacological interpretation of this strategy extends well beyond the administration of an antigenic preparation and encompasses molecular target identification, antigen processing, immune activation, pharmacodynamic modulation, therapeutic combination, toxicity management, pharmacovigilance, and longitudinal clinical outcome assessment.

Historically, cancer vaccine research evolved through several conceptual stages. Early approaches were largely based on the observation that tumors may express abnormal or overrepresented antigens capable of stimulating immune recognition. Initial vaccine strategies frequently employed whole tumor cells, tumor lysates, viral antigens, or relatively broadly expressed tumor-associated antigens. Although these approaches established the biological plausibility of therapeutic vaccination, clinical efficacy was often constrained by weak immunogenicity, antigenic heterogeneity, inadequate immune-cell activation, and profound tumor-mediated immune suppression. The subsequent development of molecular biology, genomics, proteomics, immunopeptidomics, and computational antigen prediction progressively transformed vaccine design into a more precise and individualized process.

The distinction between tumor-associated antigens and tumor-specific antigens is fundamental to contemporary vaccine pharmacology. Tumor-associated antigens may be expressed at higher levels in malignant tissue but can also occur in normal cells, creating the possibility of limited tumor specificity and potential on-target toxicity. Tumor-specific antigens, particularly mutation-derived neoantigens, may provide greater specificity because they arise from somatic alterations restricted to malignant cells. Neoantigens can result from point mutations, insertions, deletions, gene fusions, abnormal splicing, or other genomic events. Their potential value lies in the possibility of generating T-cell responses against molecular structures absent from healthy tissues. Nevertheless, prediction of a mutation does not guarantee that the resulting peptide will be naturally processed, presented by HLA molecules, recognized by T-cell receptors, and capable of generating clinically meaningful immunity.

The emergence of personalized neoantigen vaccination represents one of the most significant conceptual advances in the field. High-throughput tumor sequencing can identify candidate mutations, while transcriptomic and immunopeptidomic information may determine whether these alterations are expressed and potentially presented to immune cells. Bioinformatic algorithms can subsequently rank candidate epitopes according to predicted HLA binding, expression, clonality, and other characteristics. This workflow provides a molecular basis for individualized vaccine composition. However, the highly personalized nature of this process introduces substantial pharmacological, manufacturing, regulatory, logistical, and economic complexity.

Anticancer vaccines can be broadly categorized according to their antigenic composition and delivery technology. Peptide-based vaccines employ defined antigenic sequences capable of stimulating antigen-specific T-cell responses. Protein-based formulations provide larger antigenic structures that may engage multiple epitopes and antigen-presenting pathways. DNA and messenger RNA platforms enable delivery of genetic instructions for endogenous antigen production and may permit relatively flexible incorporation of multiple antigens. Viral-vector approaches utilize engineered viral systems to deliver tumor-associated or tumor-specific antigen sequences while simultaneously generating innate immune stimulation. Dendritic-cell vaccines involve ex vivo manipulation of professional antigen-presenting cells followed by administration to the patient. Whole-cell and tumor-lysate approaches provide broad antigenic repertoires and may reduce dependence on identifying a single target. Each platform therefore represents a distinct pharmacological intervention with unique relationships among formulation, biodistribution, antigen processing, immunogenicity, efficacy, and toxicity.

The pharmacology of these platforms differs fundamentally from that of conventional small-molecule medicines. In conventional pharmacology, pharmacokinetics generally concerns absorption, distribution, metabolism, and elimination, while pharmacodynamics describes the relationship between drug exposure and biological effect. For anticancer vaccines, the administered formulation initiates a biological cascade that may continue long after the physical vaccine components have been cleared. Antigen persistence, dendritic-cell activation, lymphocyte expansion, immune-cell differentiation, and memory formation may generate prolonged effects that cannot be adequately represented by conventional plasma concentration measurements. Pharmacodynamic assessment must consequently incorporate cellular and molecular immune markers together with clinical endpoints.

Innate immunity constitutes an important initiating component of vaccine pharmacology. Recognition of vaccine-associated molecular patterns by innate immune receptors can stimulate inflammatory signaling and promote maturation of antigen-presenting cells. Appropriate innate activation is necessary for efficient adaptive immune priming, but excessive activation may increase inflammatory toxicity. The balance between immunostimulation and immunosafety therefore represents a fundamental pharmacological consideration. Adjuvant selection, dose, formulation, route of administration, and delivery system can all influence this balance.

Dendritic cells are particularly important because they link innate sensing to adaptive immunity. Following antigen uptake and processing, dendritic cells can present antigen-derived peptides to T lymphocytes and provide the costimulatory signals necessary for effective activation. The functional state of dendritic cells within the tumor microenvironment may determine whether vaccination results in productive T-cell priming or ineffective immune activation. Tumor-derived factors may suppress dendritic-cell maturation and impair antigen presentation, creating a biological barrier that vaccine formulations must overcome.

T-cell biology is central to the therapeutic mechanism of most modern anticancer vaccines. CD8-positive cytotoxic T lymphocytes can recognize antigenic peptides presented through major

histocompatibility complex class I molecules and directly destroy target cells. CD4-positive helper T cells contribute to immune coordination, cytokine signaling, dendritic-cell licensing, and the establishment of immunological memory. Effective vaccination therefore depends on coordinated activation of multiple immune-cell populations rather than isolated expansion of a single effector-cell compartment. The quality, functionality, persistence, and tissue localization of vaccine-induced lymphocytes may be more important than their absolute numerical expansion.

The tumor microenvironment is one of the major determinants of whether these immune responses translate into therapeutic efficacy. Malignant tissues can contain regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, suppressive cytokines, abnormal vascular structures, hypoxic regions, altered extracellular matrix components, and metabolically hostile conditions. These factors can inhibit T-cell trafficking, proliferation, cytokine production, and cytotoxic activity. Consequently, a highly immunogenic vaccine may produce limited tumor control if the resulting lymphocytes cannot enter the tumor or remain functionally active after arrival.

Immune-checkpoint pathways constitute another major mechanism of tumor immune escape. Inhibitory receptors and ligands can attenuate T-cell activation and promote functional exhaustion. This provides a pharmacological rationale for combining therapeutic vaccination with immune-checkpoint inhibition. Vaccination may increase the frequency and specificity of tumor-reactive lymphocytes, while checkpoint blockade may facilitate their sustained effector activity. However, combined immune activation can also increase the probability and severity of immune-mediated adverse events, necessitating careful benefit–risk evaluation.

The interaction between anticancer vaccines and conventional chemotherapy is similarly complex. Some cytotoxic agents can promote immunogenic tumor-cell death, release tumor antigens, reduce immunosuppressive cellular populations, or alter the tumor microenvironment. Such effects may theoretically increase vaccine effectiveness. Conversely, chemotherapy-induced lymphodepletion or suppression of antigen-presenting cells may compromise vaccine-induced immunity. The timing and sequencing of chemotherapy relative to vaccination therefore represent important pharmacotherapeutic variables.

Radiotherapy may also have immunological effects extending beyond local tumor destruction. Radiation can increase antigen release, modify tumor-cell phenotype, influence inflammatory signaling, and potentially enhance immune-cell recruitment. These mechanisms have contributed to interest in combining radiation with therapeutic vaccination. However, the clinical value of such combinations depends on radiation dose, fractionation, anatomical site, timing, and patient-specific characteristics. Combination therapy may also increase systemic or local toxicity, emphasizing the importance of clinical pharmacology and safety monitoring.

Targeted molecular therapies provide another potential platform for rational combination. Oncogenic signaling pathways influence tumor-cell survival, antigen expression, cytokine production, immune-cell recruitment, and immune suppression. Pharmacological inhibition of selected pathways may therefore modify tumor immunogenicity and create conditions favorable for vaccine-mediated immunity. Conversely, molecularly targeted agents can produce their own toxicity profiles and pharmacodynamic effects that must be considered when constructing combination regimens.

The clinical pharmacotherapy of anticancer vaccines consequently requires a comprehensive understanding of treatment sequencing. The same therapies administered in different sequences may produce different biological outcomes. Vaccine administration before immune-checkpoint inhibition may generate a population of tumor-specific lymphocytes that can subsequently be activated by checkpoint blockade. Alternatively, checkpoint inhibition may alter the immune environment sufficiently to enhance vaccine priming. Similarly, cytotoxic therapy may be most

beneficial when administered at a point that maximizes antigen release while minimizing detrimental immune suppression. Determining optimal sequences remains an important area of translational research.

Therapeutic efficacy must be distinguished from immunogenicity. Immunogenicity describes the capacity of a vaccine to stimulate an immune response, whereas therapeutic efficacy concerns clinically meaningful control of malignant disease. A strong antigen-specific immune response does not necessarily produce tumor regression or improved survival. Failure can occur because of antigen heterogeneity, immune escape, inadequate tumor penetration, immune exhaustion, defective antigen presentation, or an immunosuppressive microenvironment. Therefore, clinical development must establish a mechanistic chain connecting vaccine administration to immune activation, tumor engagement, disease control, and patient benefit.

Clinical endpoints for anticancer vaccines should encompass both conventional oncological outcomes and immunotherapy-specific considerations. Objective response, complete response, partial response, stable disease, progression-free survival, overall survival, duration of response, disease-free survival, recurrence-free survival, and metastasis-free survival provide complementary measures of therapeutic performance. Quality of life, symptom burden, functional status, and patient-reported outcomes are equally important because long-term immunotherapeutic benefit may be associated with durable disease control rather than rapid tumor shrinkage.

The prevention of recurrence represents a particularly important potential application of anticancer vaccines. Patients with minimal residual disease may possess smaller tumor burdens and less immunosuppressive tumor microenvironments than individuals with advanced metastatic disease. Vaccination after definitive local treatment could theoretically establish long-term immune surveillance against residual malignant cells. Such applications require extended follow-up and sensitive biomarkers capable of detecting recurrence before clinically evident disease develops.

Molecular residual disease monitoring may provide an important complementary tool. Circulating tumor DNA can potentially detect molecular evidence of persistent or recurrent disease before radiological progression. Combining such measurements with vaccine-induced immune biomarkers may facilitate individualized monitoring of therapeutic effectiveness. A decline or disappearance of tumor-derived molecular signals accompanied by sustained tumor-specific immunity could provide evidence of biological response, whereas persistent molecular disease despite strong immune activation could indicate the need for therapeutic modification.

Toxicity represents an equally important determinant of clinical value. Anticancer vaccine-associated adverse events can include local inflammatory reactions, fever, fatigue, chills, myalgia, headache, and systemic inflammatory symptoms. Depending on vaccine formulation and combination treatment, more serious immune-mediated toxicities may occur. These may involve dermatological, gastrointestinal, hepatic, endocrine, pulmonary, cardiovascular, renal, neurological, or hematological systems. Distinguishing vaccine-associated toxicity from disease progression, infection, concomitant drug effects, or unrelated medical conditions can be challenging.

The complexity of oncology patients makes causal attribution particularly difficult. Patients frequently receive multiple systemic agents, supportive treatments, corticosteroids, analgesics, antimicrobial agents, anticoagulants, and other medications. They may also have pre-existing organ dysfunction, autoimmune conditions, or treatment-related complications. Pharmacovigilance must therefore consider the complete therapeutic context rather than attributing an adverse event automatically to the most recently administered intervention.

Pharmacovigilance is consequently integral to anticancer vaccine development from early clinical investigation through post-marketing surveillance. Randomized controlled trials provide structured safety information, but their sample sizes and eligibility criteria limit the ability to detect rare events. Real-world pharmacovigilance systems can identify uncommon or delayed signals across larger populations. Spontaneous reporting databases, electronic health records, registries, active surveillance networks, and observational studies collectively contribute to the post-authorization safety evidence base.

Signal detection requires sophisticated epidemiological and statistical methodologies. Disproportionality analysis can identify adverse events reported more frequently with a particular therapy than expected relative to a reference database. However, disproportionality does not establish causality. Confounding by indication, stimulated reporting, reporting duplication, missing information, and concomitant therapies can influence observed associations. Consequently, signal detection should be followed by clinical assessment, epidemiological investigation, mechanistic evaluation, and, where appropriate, prospective validation.

Causality assessment is particularly challenging in immuno-oncology because delayed immune-mediated toxicities can occur after treatment exposure. The temporal relationship may therefore be less straightforward than for immediate pharmacological reactions. Biological plausibility, alternative causes, clinical phenotype, laboratory findings, treatment withdrawal, subsequent clinical course, and recurrence after re-exposure where ethically appropriate may all contribute to causal evaluation. Standardized terminology and structured documentation are essential for maintaining data quality.

Risk management should be integrated into vaccine pharmacotherapy rather than considered solely a regulatory activity. Identification of risk factors, development of monitoring protocols, establishment of treatment interruption criteria, early recognition of toxicity, and evidence-based management strategies can reduce preventable morbidity. Pharmacovigilance therefore functions not merely as an observational system but as an active mechanism for improving therapeutic safety.

Evidence-based medicine provides the framework for synthesizing these complex domains. Randomized controlled trials remain central for determining comparative efficacy, but they should be interpreted alongside mechanistic studies, translational biomarkers, systematic reviews, meta-analyses, observational research, and real-world evidence. The quality of evidence depends on methodological rigor, adequate sample size, appropriate comparators, clinically meaningful endpoints, sufficient follow-up, transparent reporting, and appropriate statistical analysis.

The heterogeneity of anticancer vaccine studies creates significant challenges for evidence synthesis. Trials may differ in tumor type, disease stage, vaccine platform, antigen selection, dosing schedule, adjuvant composition, combination therapy, previous treatment exposure, biomarker requirements, and response criteria. Such heterogeneity may limit direct comparability and complicate quantitative pooling. Systematic reviews must therefore distinguish genuine biological differences from methodological heterogeneity and should avoid inappropriate aggregation of clinically distinct interventions.

Precision medicine offers an important mechanism for reducing such heterogeneity through improved patient stratification. Tumor genomic characteristics, HLA genotype, mutational burden, antigen expression, immune-cell infiltration, molecular signatures, and prior treatment exposure may all influence response. Integrating these variables into clinical trial design may identify patient populations more likely to benefit from specific vaccine strategies.

However, precision medicine also introduces challenges related to equity and accessibility. Personalized vaccine manufacturing requires advanced sequencing, bioinformatic analysis,

specialized production facilities, and multidisciplinary clinical infrastructure. Patients treated in resource-limited settings may have substantially less access to these technologies. Consequently, future development must consider not only biological efficacy but also scalability, affordability, manufacturing efficiency, regulatory harmonization, and health-system feasibility.

Manufacturing represents a particularly important consideration for individualized vaccines. Conventional pharmaceutical production seeks standardized batches with highly reproducible composition and quality characteristics. Personalized vaccines may require patient-specific manufacturing, creating a different quality-control paradigm. Identity, purity, potency, sterility, stability, and consistency must be demonstrated despite individualized product composition. Accelerated manufacturing workflows may be necessary to ensure that patients receive therapy within clinically relevant treatment windows.

Regulatory science must adapt accordingly. Personalized products challenge traditional concepts of batch release, comparability, product uniformity, and conventional clinical development. Regulatory frameworks must simultaneously protect patient safety and permit scientifically justified innovation. Harmonization of manufacturing standards, analytical methods, pharmacovigilance requirements, and clinical endpoints may facilitate responsible expansion of personalized anticancer vaccination.

Artificial intelligence and computational biology are increasingly relevant to these processes. Machine-learning methods can support neoantigen prediction, HLA-binding analysis, antigen prioritization, patient stratification, toxicity prediction, and pharmacovigilance signal detection. However, computational prediction is dependent upon the quality and representativeness of training data. Algorithmic bias, limited external validation, overfitting, and inadequate interpretability can compromise clinical reliability. Artificial intelligence should therefore function as an adjunct to rigorous experimental and clinical validation rather than a substitute for it.

The microbiome represents another emerging biological determinant of immunotherapeutic response. Microbial communities can influence immune maturation, systemic inflammation, metabolic signaling, and responsiveness to certain immunotherapies. Antibiotic exposure, diet, geography, comorbidity, and other factors can alter microbial composition and potentially modify therapeutic outcomes. Although the clinical relevance of these associations remains an active research area, microbiome-informed pharmacotherapy may ultimately become part of personalized immunotherapy.

Host factors similarly contribute to variability. Age, genetic background, immune competence, nutritional status, previous infections, comorbidities, concurrent medications, and prior cancer treatment can modify immune responses. Older patients may exhibit immunosenescence, while immunosuppressive therapies may impair vaccine-induced immunity. Conversely, certain inflammatory states may increase toxicity risk. Individualized benefit–risk assessment must therefore account for host biology as well as tumor characteristics.

The therapeutic window of anticancer vaccination should consequently be conceptualized as a multidimensional construct. It encompasses the magnitude of antitumor immunity achievable without unacceptable inflammatory or immune-mediated toxicity. Optimization requires balancing antigen specificity, immune activation, treatment intensity, combination therapy, and host tolerance. This balance is particularly important because increasing immune stimulation does not necessarily translate into proportional therapeutic benefit.

Long-term follow-up is indispensable for determining whether vaccine-induced immunity produces durable clinical effects. Unlike therapies whose benefits may be readily observable during short treatment cycles, vaccines may generate immunological memory capable of influencing disease trajectories over extended periods. Conversely, delayed toxicities may also

emerge after prolonged exposure or after immune activation has been established. Longitudinal surveillance must therefore incorporate both efficacy and safety endpoints.

Real-world evidence provides an essential complement to controlled clinical trials. Routine clinical populations often differ substantially from trial participants with respect to age, comorbidity, treatment history, socioeconomic circumstances, adherence, and healthcare access. Real-world studies can reveal how anticancer vaccines perform under these heterogeneous conditions and can identify implementation barriers that may not be apparent in highly controlled research settings.

Health outcomes research should consequently encompass not only survival and tumor response but also hospitalization, treatment discontinuation, emergency care, quality of life, functional status, healthcare resource utilization, and economic burden. Such data are necessary to determine the broader value of anticancer vaccination within healthcare systems.

Overall, the background scientific framework surrounding anticancer vaccines demonstrates that their development represents a convergence of molecular immunology, pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision oncology, toxicology, pharmacovigilance, epidemiology, and outcomes science. The field has moved from relatively generalized tumor-antigen approaches toward increasingly personalized and technologically sophisticated interventions. Yet technological sophistication alone does not establish therapeutic value. Meaningful advancement requires rigorous demonstration that molecularly targeted immune activation produces durable clinical benefit while maintaining an acceptable toxicity profile.

The central scientific challenge is therefore one of integration. Antigen discovery must be connected with pharmacological formulation; immune activation must be connected with tumor control; molecular precision must be connected with patient selection; therapeutic efficacy must be evaluated alongside toxicity; and clinical-trial evidence must be integrated with pharmacovigilance and real-world effectiveness. Only through such multidimensional integration can anticancer vaccines progress from promising experimental technologies to mature components of evidence-based cancer pharmacotherapy.

This integrated background establishes the rationale for evaluating anticancer vaccines through a comprehensive scientific framework encompassing therapeutic efficacy, pharmacological mechanisms, pharmacotherapeutic combinations, immunosafety, toxicity characterization, pharmacovigilance, precision medicine, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Such an approach is essential for determining not simply whether an anticancer vaccine can induce an immune response, but whether that response can be transformed into durable, safe, reproducible, and clinically meaningful improvement in the lives of patients with malignant disease.

The increasing sophistication of anticancer vaccine science has created a therapeutic environment in which pharmacological decision-making must accommodate substantial biological heterogeneity. Unlike many conventional medicines developed around a relatively conserved molecular target, anticancer vaccines interact with a patient-specific immunological system and a genetically heterogeneous malignant population. The therapeutic effect is therefore influenced by the interaction among vaccine composition, antigenic architecture, host immune competence, tumor genetics, HLA repertoire, tumor microenvironment, previous treatment exposure, concomitant pharmacotherapy, and temporal disease evolution. This multidimensional dependency makes individualized pharmacological assessment particularly important and challenges conventional assumptions concerning uniform treatment response.

Tumor heterogeneity represents one of the principal barriers to durable vaccine-mediated tumor control. Malignant neoplasms may contain multiple subclonal populations with distinct genomic, transcriptomic, and antigenic profiles. A vaccine directed against an antigen present in only a

subset of tumor cells may eliminate susceptible clones while allowing antigen-negative populations to expand. The resulting immunological selection can contribute to acquired resistance and disease progression. Consequently, the identification of clonal or truncal antigens, when technically feasible, has become an important objective in vaccine design. Targeting antigens shared across a large proportion of malignant cells may reduce the probability of immune escape, although such targets may be more difficult to identify and may potentially be associated with greater antigen-specific toxicity if normal tissues express related molecules.

The concept of antigen hierarchy is also relevant. Tumors may express numerous potential antigens, but only a subset may generate dominant immune responses. Immunodominance can influence the distribution and persistence of vaccine-induced T-cell populations. A highly immunogenic epitope may dominate the immune response while less dominant but potentially clinically important epitopes remain insufficiently recognized. Multi-antigen vaccine strategies may therefore attempt to broaden immune recognition and decrease dependence on a single dominant target. However, increasing antigenic complexity can create competition among epitopes and complicate prediction of the resulting immune repertoire.

Antigen presentation is another critical determinant. Even when a tumor expresses a theoretically suitable antigen, effective immune recognition requires intracellular processing and presentation through appropriate HLA molecules. Alterations in antigen-processing machinery, β2-microglobulin expression, interferon signaling, or HLA expression can reduce tumor visibility to cytotoxic lymphocytes. Such mechanisms represent potential forms of immune escape that may not be overcome by simply increasing vaccine dose. Pharmacological strategies aimed at restoring antigen presentation or modifying tumor-cell phenotype may therefore become important adjuncts to vaccination.

The tumor microenvironment is characterized by substantial metabolic complexity that can directly influence immune-cell function. Activated T cells require glucose, amino acids, oxygen, and other metabolic substrates to sustain proliferation and cytotoxic activity. Tumor cells can consume these resources while producing metabolites that inhibit immune function. Hypoxia and extracellular acidity may further impair lymphocyte activity and alter cytokine signaling. Consequently, successful vaccine therapy may require simultaneous modification of metabolic barriers within the tumor microenvironment. This area represents a developing intersection between cancer metabolism and immunopharmacology.

Tumor-associated macrophages constitute another important regulatory population. Depending on their functional phenotype and environmental signals, macrophages can support inflammation and antigen presentation or contribute to immune suppression, angiogenesis, tissue remodeling, and tumor progression. Strategies capable of modifying macrophage polarization may potentially enhance vaccine efficacy by creating a more permissive immunological environment. Similarly, myeloid-derived suppressor cells can inhibit T-cell activity through multiple mechanisms, including production of reactive oxygen species, arginine depletion, and immunosuppressive signaling. Their presence may represent a major barrier to successful vaccine-mediated immune control.

Regulatory T cells can suppress antitumor immune responses through direct cellular interactions and production of inhibitory mediators. Their accumulation within tumors may reduce the functional effectiveness of vaccine-induced lymphocytes. However, broad depletion or inhibition of regulatory immune populations carries the risk of systemic autoimmunity. This illustrates the central pharmacological principle that immune modulation must be sufficiently selective to enhance antitumor activity without disrupting physiological immune tolerance.

Cytokine signaling represents another complex component of vaccine pharmacology. Cytokines can promote immune-cell recruitment, differentiation, proliferation, and activation, but excessive

cytokine production can generate systemic inflammatory toxicity. The therapeutic objective is therefore not maximal cytokine release but controlled immune signaling directed toward productive antitumor activity. Biomarker-guided monitoring of cytokine profiles may assist in identifying patients experiencing excessive inflammatory activation and may contribute to early recognition of emerging toxicity.

The role of innate immune sensors has also expanded the conceptual framework of vaccine pharmacology. Recognition of nucleic-acid-based vaccine components by intracellular or extracellular pattern-recognition receptors can generate potent innate signals that influence subsequent adaptive immunity. Such mechanisms are beneficial when appropriately controlled but can become detrimental if activation is excessive or poorly localized. The formulation of nucleic-acid vaccines therefore requires careful consideration of molecular structure, delivery system, innate sensing, degradation kinetics, and cellular localization.

Nanotechnology provides additional opportunities for optimizing vaccine delivery. Nanoparticles can potentially protect fragile biological molecules, facilitate cellular uptake, control antigen release, and improve lymphatic transport. They may also allow co-delivery of antigens and adjuvants within the same formulation. However, nanoparticle pharmacology introduces additional variables related to particle size, surface characteristics, composition, biodistribution, persistence, and potential toxicity. Regulatory characterization of these systems may consequently be more complex than that of conventional formulations.

The route and anatomical site of administration can influence immune responses through local tissue immunology. Lymphatic drainage, resident antigen-presenting cells, tissue-specific immune populations, and local inflammatory conditions may determine the efficiency with which antigen reaches lymphoid organs. Understanding these anatomical pharmacology principles may permit optimization of vaccine delivery and potentially reduce systemic exposure or adverse inflammatory effects.

Repeated vaccination presents another pharmacological consideration. Booster administration may strengthen and prolong immune responses, but repeated exposure can also alter the immunological profile of the response. Depending on the platform, vector immunity, antigen-specific tolerance, exhaustion, or changes in immune-cell composition may influence subsequent responses. The optimal number and timing of vaccine administrations therefore require empirical determination rather than assumptions based solely on conventional vaccination schedules.

The durability of immunological memory is central to the long-term therapeutic rationale. Memory T cells can persist after initial antigen exposure and may rapidly reactivate upon recognition of residual or recurrent malignant cells. However, the quality of memory formation depends on antigen persistence, inflammatory context, cytokine signaling, costimulation, metabolic conditions, and host characteristics. Tumor evolution can further challenge long-term immunity by eliminating or modifying the targeted antigen. Continuous monitoring of antigenic and immunological evolution may therefore become increasingly relevant.

Immune escape should be regarded as a dynamic process rather than a single mechanism. Malignant cells may simultaneously reduce antigen expression, alter antigen-processing pathways, increase inhibitory ligand expression, modify cytokine signaling, recruit suppressive immune cells, and develop metabolic adaptations. These mechanisms can emerge sequentially or concurrently. Consequently, effective vaccine therapy may require dynamic treatment strategies capable of adapting to evolving tumor biology.

This dynamic perspective supports the development of adaptive therapeutic approaches. Instead of maintaining a fixed vaccine composition throughout treatment, future platforms may potentially incorporate serial molecular profiling to identify emerging antigens and modify vaccine formulations accordingly. Such adaptive vaccination would represent an advanced form

of precision pharmacotherapy in which treatment evolves with the biological characteristics of the tumor. Implementation, however, would require rapid sequencing, validated computational pipelines, accelerated manufacturing, and robust regulatory mechanisms.

The integration of liquid biopsy technologies could facilitate this adaptive model. Circulating tumor DNA, circulating tumor cells, extracellular vesicles, and other circulating biomarkers may provide longitudinal information regarding tumor evolution without repeated invasive biopsies. Molecular surveillance could potentially identify newly emerging mutations, loss of targeted antigens, or molecular evidence of treatment resistance. When combined with immune profiling, these technologies could provide a comprehensive picture of the evolving therapeutic interaction between vaccine-induced immunity and malignant disease.

Another major area of interest is the interaction between anticancer vaccines and cellular therapies. Adoptive T-cell therapy, tumor-infiltrating lymphocyte therapy, and engineered T-cell approaches can provide highly specific effector populations. Vaccination may potentially enhance expansion or persistence of transferred cells by providing antigenic stimulation. Conversely, cellular therapies may complement vaccines by supplying effector cells capable of responding to vaccine-induced antigen presentation. These combinations require careful pharmacological assessment because excessive immune activation could increase toxicity.

The relationship between vaccination and antibody-mediated immunity should also be considered. Although cytotoxic T cells are often emphasized, antibodies may contribute to tumor recognition through mechanisms such as antibody-dependent cellular cytotoxicity, complement activation, receptor blockade, or interference with tumor signaling. Some vaccine platforms can induce both cellular and humoral responses. The relative contribution of these mechanisms may vary according to antigen type and tumor biology. Comprehensive pharmacodynamic evaluation should therefore avoid restricting immunogenicity assessment to a single immune compartment.

Immune memory and antibody responses may also have different temporal kinetics. A transient increase in circulating antibodies or effector T cells may not necessarily indicate durable protection. Long-term assessment of memory populations and functional immune responses may provide greater predictive value. This distinction is particularly relevant when vaccines are being evaluated for recurrence prevention, where the therapeutic objective may extend over many years.

Clinical trial methodology must adapt to these biological characteristics. Traditional oncology trials frequently focus on median progression-free or overall survival, but vaccine studies may require extended follow-up to capture delayed benefits and late adverse events. Time-to-event analyses must therefore account for nonproportional hazards and potentially delayed treatment effects. Conventional statistical assumptions may not always be appropriate when therapeutic effects emerge gradually. Trial design should consequently incorporate statistical approaches capable of addressing the distinctive temporal characteristics of immunotherapy.

Biomarker-enriched trials can potentially improve efficiency by selecting patients based on molecular or immunological characteristics. However, excessive restriction may reduce generalizability and make it difficult to understand effectiveness in broader populations. A balance must therefore be achieved between biological precision and external validity. Subsequent pragmatic and real-world studies are necessary to determine whether findings from highly selected populations remain applicable in routine practice.

The distinction between efficacy and effectiveness is particularly important in this context. Efficacy describes performance under controlled research conditions, whereas effectiveness reflects outcomes under routine clinical circumstances. Personalized anticancer vaccines may face implementation challenges involving tissue acquisition, sequencing turnaround time, manufacturing capacity, scheduling, reimbursement, patient adherence, and access to specialized

centers. These factors can substantially affect effectiveness even when biological efficacy is demonstrated.

Health-system infrastructure therefore becomes part of the pharmacotherapeutic environment. Advanced vaccine programs require multidisciplinary coordination among oncologists, clinical pharmacologists, pathologists, molecular geneticists, immunologists, bioinformaticians, pharmacists, laboratory specialists, and pharmacovigilance professionals. Effective implementation requires standardized communication, validated workflows, quality assurance, and clearly defined responsibilities for treatment monitoring and adverse-event reporting.

Clinical pharmacists may have an increasingly important role in this environment. Their expertise in medication safety, pharmacological interactions, treatment adherence, adverse-event monitoring, patient education, and pharmacovigilance can contribute to the safe integration of vaccine-based therapies with complex anticancer regimens. As personalized immunotherapy expands, pharmaceutical care may increasingly involve interpretation of treatment schedules, concomitant medication risks, supportive therapy, monitoring parameters, and patient-centered counseling.

Drug–vaccine interactions represent another emerging area. Concomitant medications can influence immune function and potentially alter vaccine effectiveness or toxicity. Corticosteroids and other immunosuppressive drugs may reduce immune activation, whereas antimicrobial therapy may alter the microbiome and indirectly influence immunotherapy response. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs, anticoagulants, antiplatelet therapies, and other commonly used medications may affect the management of adverse events. Comprehensive medication reconciliation is therefore essential.

Polypharmacy is especially relevant in older oncology populations. Multiple medications may create competing risks and complicate attribution of adverse events. A pharmacological review should consider not only whether a vaccine can be administered safely but whether the entire medication regimen remains optimized. Deprescribing inappropriate or unnecessary medications may sometimes improve the safety profile of complex immunotherapeutic regimens.

The concept of medication safety must therefore be expanded into integrated therapeutic safety. This includes correct product selection, dosing, administration, storage, preparation, treatment sequencing, monitoring, documentation, adverse-event recognition, and communication across healthcare professionals. Errors in individualized vaccine production or administration may have particularly significant consequences because of the personalized nature of the treatment.

Pharmacovigilance systems must also accommodate product-specific identification. Conventional spontaneous reporting can be challenging when individualized vaccines do not correspond to a single standardized commercial product. Accurate documentation of vaccine platform, antigen composition, manufacturing batch, administration date, concomitant therapy, and patient characteristics may be essential for meaningful signal detection. Digital traceability systems could potentially facilitate this process.

Post-marketing surveillance should be designed from the earliest stages of development rather than added after approval. Predefined safety outcomes, standardized reporting procedures, active follow-up, and linkage with clinical databases can strengthen the capacity to detect rare adverse events. Long-term registries may be particularly valuable for identifying delayed immune-mediated complications and assessing durability of clinical benefit.

The ethical dimension of pharmacovigilance should also be considered. Patients receiving innovative vaccines may have limited information about long-term risks because of relatively short pre-authorization experience. Transparent communication regarding known and uncertain risks is therefore an essential component of informed consent. Patients should understand that

post-marketing surveillance may identify additional safety information as treatment becomes more widely used.

Patient participation in safety monitoring may provide additional value. Digital patient-reported outcome systems can allow individuals to report symptoms between clinical visits, potentially enabling earlier identification of emerging toxicity. Such systems may also capture quality-of-life effects that are underrepresented in conventional adverse-event reporting. Integration of patient-generated data into pharmacovigilance could strengthen patient-centered safety science.

The economic implications of toxicity are also substantial. Severe treatment-related adverse events can increase hospitalization, supportive-care requirements, treatment discontinuation, and healthcare expenditure. Conversely, effective vaccination that prevents recurrence may reduce long-term treatment costs and disease burden. Economic evaluation should therefore incorporate both the costs of vaccine development and administration and the potential downstream consequences of treatment efficacy and toxicity.

Cost-effectiveness assessment becomes particularly important for personalized vaccine platforms. Individualized sequencing, bioinformatic analysis, manufacturing, quality control, and repeated monitoring may produce high initial costs. These costs may be justified if vaccination results in substantial survival gains, durable disease control, or avoidance of subsequent expensive therapies. Formal health-economic models should therefore incorporate long-term outcomes rather than evaluating acquisition costs alone.

Global implementation introduces further considerations. Vaccine technologies developed in highly resourced healthcare systems may be difficult to implement in countries lacking genomic sequencing infrastructure, specialized manufacturing facilities, or advanced oncology centers. International collaboration, technology transfer, standardized protocols, and scalable manufacturing approaches may help reduce disparities. The global pharmacological value of anticancer vaccines will ultimately depend not only on efficacy but also on accessibility.

The regulatory environment must similarly balance innovation with safety. Novel vaccine platforms may not fit neatly within conventional regulatory categories. Personalized products, combination regimens, adaptive manufacturing, and rapidly evolving technologies require flexible but rigorous oversight. Standardization of quality attributes, potency assays, clinical endpoints, pharmacovigilance requirements, and post-authorization commitments can support responsible development.

The scientific literature increasingly emphasizes that successful immunotherapy requires coordinated manipulation of multiple biological axes. Antigen specificity alone may be insufficient if T-cell activation is impaired; T-cell activation may be insufficient if tumor infiltration is blocked; infiltration may be insufficient if metabolic suppression dominates; and tumor recognition may be insufficient if antigen expression is lost. This systems-level understanding provides the rationale for multimodal pharmacotherapy.

Combination therapy should nevertheless be approached cautiously. Every additional therapeutic component introduces potential pharmacodynamic interactions, cumulative toxicity, increased cost, treatment complexity, and challenges in determining which component is responsible for efficacy or adverse events. Evidence-based combination development should therefore require a clear mechanistic hypothesis and appropriate comparative evaluation.

The concept of rational combination therapy is particularly important in clinical pharmacology. Rather than combining treatments solely because they operate through different mechanisms, researchers should determine whether their mechanisms are complementary in sequence, location, timing, and biological context. Pharmacodynamic modeling and translational biomarkers may assist in identifying combinations that maximize synergistic benefit while minimizing antagonism.

The ultimate objective of these strategies remains patient-centered clinical benefit. Molecular response, immunological activation, and pharmacodynamic biomarkers are important intermediate measures, but they should ultimately be connected to outcomes meaningful to patients. Durable survival, prevention of recurrence, preservation of function, reduction of symptoms, maintenance of quality of life, and acceptable toxicity represent the most clinically consequential outcomes.

Thus, the background of anticancer vaccine pharmacology demonstrates a transition from relatively generalized immunostimulation toward precision, adaptive, and multidimensional therapeutic design. This transition has generated unprecedented opportunities but has also introduced greater scientific complexity. The therapeutic agent is no longer simply a defined chemical entity; it is a biologically active intervention capable of reshaping the patient's immune response. The resulting pharmacological effects are influenced by tumor evolution, host biology, treatment combinations, and environmental factors.

The scientific maturity of the field will therefore depend on the ability to integrate molecular innovation with rigorous clinical evidence. Antigen discovery, vaccine engineering, pharmacological formulation, clinical pharmacotherapy, toxicity assessment, pharmacovigilance, precision patient selection, and real-world effectiveness must be regarded as interconnected components of a single therapeutic continuum. Fragmentation of these domains risks overestimating immunogenicity while underestimating clinical limitations or safety challenges.

A comprehensive background framework consequently requires simultaneous attention to efficacy and harm, molecular precision and clinical applicability, technological innovation and health-system feasibility, and controlled trial performance and real-world effectiveness. This integrated perspective provides the foundation for evaluating anticancer vaccines as a mature pharmacotherapeutic discipline rather than merely an experimental immunological technology.

The anticancer vaccines represent a potentially transformative approach to cancer treatment and prevention, but their ultimate therapeutic status depends upon rigorous validation across multiple levels of evidence. The central scientific challenge is to convert highly specific molecular information into durable immune-mediated tumor control while maintaining an acceptable therapeutic safety profile. Achieving this objective requires convergence of cancer pharmacology, clinical immunology, precision medicine, toxicology, pharmacovigilance, evidence-based medicine, and health outcomes research.

The evolution of these disciplines is likely to determine whether anticancer vaccines become broadly integrated into routine cancer care. Future success will depend on improved antigen prediction, more effective delivery technologies, optimized adjuvants, rational combinations, adaptive treatment monitoring, refined patient selection, standardized manufacturing, comprehensive pharmacovigilance, and robust real-world evidence. The resulting therapeutic paradigm has the potential to transform vaccination from a preventive public-health intervention into a highly individualized component of precision oncology, provided that scientific innovation remains closely coupled to rigorous evidence generation, clinical safety, and meaningful patient outcomes.

GOAL

The principal goal of this comprehensive scientific appraisal is to systematically characterize the contemporary pharmacological, pharmacotherapeutic, immunological, molecular, and clinical dimensions of anticancer vaccine development and therapeutic implementation. Particular emphasis is placed on elucidating mechanisms of vaccine-mediated antitumor immunity, antigen selection, neoantigen identification, molecular personalization, immunogenicity, therapeutic efficacy, and pharmacodynamic determinants of clinical response. The analysis further aims to

critically evaluate toxicity profiles, immunosafety, adverse-event patterns, pharmacovigilance requirements, therapeutic benefit–risk relationships, treatment monitoring, and clinically meaningful outcomes, including objective response, progression-free survival, overall survival, recurrence control, and quality of life. An additional objective is to integrate evidence-based medicine, precision oncology, clinical pharmacology, translational research, and real-world evidence to identify determinants of treatment effectiveness and patient heterogeneity. Ultimately, this appraisal seeks to establish a scientifically coherent framework for optimizing individualized anticancer vaccine strategies, rational therapeutic combinations, longitudinal safety surveillance, and patient-centered clinical decision-making.

METHODOLOGY

The methodological architecture of this scientific appraisal was constructed as an integrative, multidisciplinary, evidence-oriented analytical framework designed to synthesize contemporary knowledge concerning anticancer vaccine pharmacology, pharmacotherapy, immunobiology, therapeutic efficacy, toxicity, immunosafety, pharmacovigilance, precision medicine, and patient-centered clinical outcomes. The investigation employed a structured narrative and critical evidence-synthesis approach incorporating principles derived from evidence-based medicine, translational oncology, clinical pharmacology, pharmacoepidemiology, immunopharmacology, molecular oncology, and outcomes research.

Relevant scientific evidence was conceptually identified across peer-reviewed biomedical and pharmaceutical literature, with particular consideration given to randomized controlled trials, prospective and retrospective clinical investigations, systematic reviews, meta-analyses, translational studies, pharmacological investigations, pharmacovigilance analyses, real-world evidence, and authoritative clinical or regulatory documents. The analytical framework encompassed major anticancer vaccine platforms, including peptide- and protein-based vaccines, nucleic-acid vaccines, viral-vector systems, dendritic-cell approaches, whole-cell preparations, tumor-associated antigen vaccines, and individualized neoantigen-based formulations.

The methodological assessment incorporated multidimensional evaluation of antigenicity, immunogenicity, antigen processing and presentation, HLA-mediated recognition, T-cell and B-cell activation, innate immune signaling, tumor-microenvironment interactions, immune escape, immunological memory, and mechanisms of therapeutic resistance. Pharmacotherapeutic evaluation emphasized dose–response relationships, administration strategies, pharmacodynamic determinants, therapeutic combinations, treatment sequencing, and interactions with immune-checkpoint inhibitors, chemotherapy, radiotherapy, targeted therapies, and cellular immunotherapies.

Clinical effectiveness was assessed through objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, recurrence-free survival, duration of response, quality of life, and patient-reported outcomes. Safety assessment incorporated adverse-event characterization, immune-mediated toxicities, serious adverse reactions, treatment discontinuation, delayed toxicity, and benefit–risk evaluation. Pharmacovigilance considerations included adverse-event detection, signal identification, causality assessment, risk stratification, longitudinal monitoring, and real-world safety surveillance.

The synthesized evidence was critically interpreted according to methodological rigor, biological plausibility, clinical relevance, consistency, translational applicability, and limitations of existing evidence, enabling formulation of an integrated framework for precision-guided anticancer vaccine pharmacotherapy and optimization of therapeutic outcomes.

RESULTS AND DISCUSSION

The integrated analysis demonstrates that contemporary anticancer vaccine science can no longer be conceptualized exclusively as an extension of conventional immunization technology. Rather, anticancer vaccines represent a highly complex pharmacotherapeutic modality positioned at the convergence of molecular oncology, tumor immunology, clinical pharmacology, pharmacogenomics, precision medicine, translational therapeutics, pharmacovigilance, and outcomes research. The principal finding emerging from the comprehensive assessment is that therapeutic success is determined not by vaccine administration alone, but by the interaction of antigenic architecture, host immunobiology, tumor evolution, vaccine platform, delivery characteristics, treatment sequencing, concomitant pharmacotherapy, immune competence, and longitudinal clinical monitoring. Consequently, the therapeutic value of anticancer vaccination is best interpreted through an integrated benefit–risk paradigm rather than through isolated measures of immunogenicity.

A central result of the analytical synthesis is the progressive transition from empirically selected tumor antigens toward molecularly defined and increasingly individualized antigenic targets. Earlier generations of cancer vaccines frequently relied upon shared tumor-associated antigens, differentiation antigens, overexpressed proteins, tumor lysates, or broadly immunogenic cellular preparations. Contemporary approaches increasingly exploit tumor-specific genomic alterations and neoantigenic determinants generated through somatic mutation, aberrant splicing, gene fusion, or other molecular abnormalities. This transition represents a fundamental pharmacological and conceptual transformation because the therapeutic target becomes increasingly specific to the malignant clone rather than merely associated with malignant tissue. The resulting increase in molecular specificity theoretically improves discrimination between neoplastic and normal tissues, although clinical effectiveness remains dependent upon antigen expression, processing, presentation, immune recognition, tumor heterogeneity, and preservation of the relevant antigenic determinant during disease evolution.

The analysis further indicates that neoantigen selection constitutes one of the most consequential determinants of personalized vaccine performance. Identification of candidate neoantigens requires integration of tumor genomic sequencing, transcriptomic information, variant calling, HLA typing, peptide-binding prediction, expression analysis, immunogenicity estimation, and increasingly immunopeptidomic validation. Computational prediction alone does not establish biological relevance. A candidate neoantigen must ultimately be processed intracellularly, presented within the appropriate major histocompatibility complex context, recognized by an appropriate T-cell receptor repertoire, and expressed sufficiently within clinically relevant malignant populations. Therefore, the methodological distinction between predicted antigenicity and demonstrated immunogenicity is critical. A computationally attractive peptide may remain therapeutically ineffective if it is poorly processed, inadequately presented, immunologically subdominant, spatially restricted, or absent from dominant tumor clones.

One of the most important findings is therefore the necessity of antigenic prioritization rather than indiscriminate antigen accumulation. Increasing the number of candidate epitopes does not automatically translate into superior clinical activity. Effective vaccine design must balance antigen breadth with antigen quality, clonality, expression stability, HLA compatibility, immunodominance, and resistance to tumor immune escape. Clonal or truncal neoantigens may possess particular strategic value because their distribution across malignant populations can reduce the probability that vaccination selectively eliminates only a minor subclone while leaving antigenically divergent malignant cells unaffected. Nevertheless, clonal architecture differs substantially among malignancies and individual patients, meaning that antigen selection must remain dynamically connected to tumor evolutionary biology.

The evidence synthesis indicates that intratumoral heterogeneity represents a major pharmacological determinant of vaccine efficacy. Tumors are not homogeneous cellular entities but evolving ecosystems containing genetically distinct malignant clones, stromal populations, endothelial cells, infiltrating immune cells, fibroblasts, myeloid populations, and extracellular-matrix components. Consequently, vaccine-induced immune pressure may produce differential selective effects across tumor subpopulations. If a dominant vaccine target is lost through immunoediting, transcriptional suppression, defective antigen processing, HLA downregulation, or clonal replacement, therapeutic activity may diminish despite the persistence of systemic immune responses. This finding supports the development of multi-antigen or adaptive vaccine strategies capable of responding to evolving tumor architecture.

The relationship between vaccination and cancer immunoediting is particularly important. Therapeutic vaccination exerts selective immunological pressure that may eliminate susceptible tumor cells while enriching populations capable of immune evasion. Such evolutionary dynamics should not necessarily be interpreted as evidence of therapeutic failure in a simplistic sense. Instead, they reveal the dynamic interaction between treatment-induced selection and tumor adaptation. The pharmacotherapeutic implication is that longitudinal molecular monitoring may become increasingly important for identifying emerging antigen-loss variants, alterations in HLA expression, or changes in tumor immune phenotype. This creates a rationale for adaptive treatment strategies in which vaccine composition, combination therapy, or sequencing is modified according to evolving biological information.

Another major finding concerns the distinction between immunogenicity and therapeutic efficacy. The generation of antigen-specific T cells, increased cytokine production, antibody responses, or measurable immune-cell expansion demonstrates biological activity but does not necessarily establish clinically meaningful antitumor benefit. Clinical efficacy requires translation of immune activation into tumor control, disease stabilization, recurrence prevention, delayed progression, or survival improvement. Therefore, vaccine-development programs that rely predominantly on immunological surrogate endpoints may overestimate therapeutic value if those responses are not correlated with validated clinical outcomes.

The analysis suggests that the pharmacodynamic evaluation of anticancer vaccines should consequently incorporate multiple biological layers. Peripheral immune-cell expansion, T-cell receptor repertoire diversification, cytokine signatures, immune-cell functional assays, tumor infiltration, circulating tumor DNA, radiographic response, and longitudinal survival outcomes may provide complementary information. No single biomarker adequately captures the entire pharmacodynamic spectrum. A multidimensional biomarker architecture may therefore offer greater predictive and explanatory power than isolated immunological measurements.

Particularly important is the emerging role of molecular residual disease as a potential bridge between immune pharmacodynamics and clinical outcomes. Conventional radiographic assessment may fail to identify microscopic residual disease or may demonstrate changes only after substantial temporal delay. Circulating tumor DNA and related liquid-biopsy approaches provide an opportunity to monitor tumor-derived molecular signals longitudinally. Declining or undetectable molecular residual disease following vaccination could potentially provide an early indicator of therapeutic activity, whereas persistent or re-emerging molecular abnormalities may indicate incomplete tumor eradication or evolving resistance. Nevertheless, analytical sensitivity, biological variability, tumor shedding characteristics, assay standardization, and disease-specific performance must be carefully considered before such biomarkers can be universally incorporated into therapeutic decision-making.

The results further demonstrate that the biological activity of anticancer vaccines is profoundly dependent upon the tumor microenvironment. Even a highly immunogenic vaccine may produce

limited therapeutic effects if activated lymphocytes cannot access malignant tissue, become functionally suppressed, or encounter an immunosuppressive metabolic environment. Tumor-associated macrophages, regulatory T cells, myeloid-derived suppressor cells, cancer-associated fibroblasts, inhibitory cytokines, hypoxia, abnormal vasculature, extracellular-matrix barriers, and altered nutrient availability can collectively constrain immune-mediated tumor elimination. Thus, vaccine pharmacotherapy cannot be fully optimized without considering the spatial and functional architecture of the tumor microenvironment.

This finding provides a mechanistic rationale for combination therapy. Checkpoint inhibitors may restore functionality in exhausted T cells, whereas vaccines can increase the frequency and specificity of tumor-reactive lymphocytes. The combination is therefore pharmacologically complementary: vaccination may provide or amplify antigen-specific immune priming, while checkpoint blockade may remove inhibitory signaling that restricts effector function. However, the relationship is not automatically synergistic. Excessive immune activation, overlapping inflammatory toxicities, heterogeneous tumor biology, and inappropriate patient selection may compromise the therapeutic index. Consequently, combination regimens should be designed according to mechanistic complementarity rather than merely combining multiple immunologically active agents.

The same principle applies to chemotherapy. Conventional cytotoxic agents have historically been viewed primarily as immunosuppressive because of their effects on proliferating immune cells. However, selected chemotherapeutic interventions can modify the tumor microenvironment, increase antigen release, alter immunogenic cell death, reduce immunosuppressive populations, or enhance tumor antigen availability. The analysis therefore supports a more sophisticated interpretation of chemotherapy–vaccine combinations in which cytotoxic treatment may, under appropriate conditions, function as an immunomodulatory component. The therapeutic challenge lies in identifying doses and schedules that maximize favorable immunological effects without producing excessive lymphodepletion or impairing vaccine-induced immune priming.

Radiotherapy similarly possesses dual pharmacological relevance. Local radiation can induce tumor-cell death, increase antigen release, alter antigen presentation, and influence inflammatory signaling. These effects create a theoretical and experimentally supported basis for combining localized radiation with systemic vaccination. Nevertheless, radiation-induced tissue injury can also contribute to inflammatory toxicity and may affect immune-cell trafficking in complex ways. The optimal integration of radiotherapy therefore requires careful consideration of anatomical site, dose, fractionation, sequencing, and the immunological status of the patient.

Targeted therapies provide another potentially important combinatorial framework. Molecularly targeted drugs can modify oncogenic signaling pathways that influence antigen expression, interferon responsiveness, apoptosis, tumor metabolism, or immune-cell interactions. In some circumstances, suppression of an oncogenic pathway may render malignant cells more visible to the immune system. In others, targeted treatment may reduce tumor burden sufficiently to improve the effectiveness of immune-mediated elimination. The results indicate that future combination strategies should therefore be guided by mechanistic pharmacology and biomarker-defined patient selection rather than by empirical co-administration.

A particularly significant result concerns treatment sequencing. The order in which anticancer interventions are administered may materially influence immune priming, antigen availability, lymphocyte functionality, tumor burden, and toxicity. Vaccine administration before immune checkpoint blockade may establish antigen-specific populations that can subsequently be functionally enhanced. Conversely, checkpoint inhibition before vaccination may alter the immune landscape in a manner that influences subsequent priming. Chemotherapy or radiation

administered at carefully selected intervals may modify antigen release or immune-cell composition. Therefore, sequence represents a pharmacological variable rather than a merely logistical consideration.

Tumor burden also emerged as an important determinant of therapeutic responsiveness. High-volume, rapidly progressive disease may contain extensive immunosuppressive architecture and greater antigenic heterogeneity, potentially reducing the effectiveness of vaccine-induced immune responses. By contrast, vaccination in settings of minimal residual disease or after successful cytoreduction may allow a smaller number of malignant cells to be targeted by an established immune response. This observation supports investigation of vaccines in adjuvant, maintenance, consolidation, or minimal-residual-disease settings rather than restricting therapeutic vaccination to advanced refractory disease.

The prevention of recurrence may consequently represent one of the most clinically meaningful applications of therapeutic cancer vaccination. Following definitive local treatment, microscopic residual malignant cells may remain despite the absence of radiographically detectable disease. A vaccine capable of generating durable immune surveillance could theoretically target residual malignant populations and delay or prevent recurrence. The appropriate endpoints in such settings differ from those used in metastatic disease. Recurrence-free survival, disease-free survival, molecular residual disease, time to recurrence, and long-term overall survival become particularly relevant.

The results emphasize that anticancer vaccine pharmacology must also account for the kinetics of immune response. Conventional pharmacotherapy often produces relatively rapid exposure–response relationships, whereas vaccine-induced immunity may require priming, clonal expansion, differentiation, memory formation, and repeated antigenic stimulation. Consequently, therapeutic effects may emerge later than those of cytotoxic or targeted agents. This temporal distinction creates methodological challenges for conventional clinical trial design because early radiographic progression may not always reflect irreversible therapeutic failure in immunologically active treatment contexts.

Delayed response patterns and atypical response trajectories therefore require careful clinical interpretation. Apparent enlargement of lesions may result from inflammatory infiltration rather than immediate malignant progression, although true progression can occur concurrently. The clinical differentiation between immune-mediated inflammatory change and disease progression requires integration of imaging, symptoms, biomarkers, serial assessment, and clinical judgment. This finding reinforces the need for response-assessment frameworks capable of accommodating the biological characteristics of immunotherapeutic interventions.

The pharmacodynamic duration of vaccine-induced immunity is another major consideration. Effective vaccination should ideally produce not only short-lived effector responses but durable memory populations capable of responding to subsequent tumor-antigen exposure. Memory T-cell differentiation, tissue-resident lymphocytes, memory B-cell populations, and persistent antigen-specific immune surveillance may contribute to long-term protection. However, memory quality may vary according to antigen, vaccination platform, adjuvant, dosing schedule, tumor burden, and concomitant treatment. Consequently, the durability of immune protection should be assessed longitudinally rather than inferred from early post-vaccination immune measurements.

The analysis further indicates that repeated vaccination may have both beneficial and limiting consequences. Booster administration can reinforce immune memory and increase the frequency of antigen-specific clones. However, repeated exposure may also alter immune-cell composition, induce diminishing responses, or select for antigen-negative tumor populations. Optimal vaccination schedules should therefore be biologically justified rather than determined solely by

conventional immunization paradigms.

The selection of vaccine platform represents another major determinant of pharmacological behavior. Peptide vaccines offer molecular specificity and manufacturing flexibility but may require potent adjuvantation and appropriate HLA compatibility. Protein-based vaccines provide broader antigenic material but depend heavily on processing and presentation. DNA and messenger-RNA platforms permit intracellular antigen production and potentially rapid manufacturing, while viral vectors may provide strong innate and adaptive immune activation but introduce concerns related to vector immunity and repeated administration. Dendritic-cell vaccines provide an ex vivo cellular engineering approach that can optimize antigen presentation but involve complex manufacturing, individualized production, and logistical demands. Whole-cell or tumor-lysate approaches provide broad antigenic repertoires but sacrifice some molecular precision.

These platform differences demonstrate that the term “anticancer vaccine” encompasses pharmacologically heterogeneous interventions. Consequently, class-wide conclusions should be interpreted cautiously. Efficacy, toxicity, pharmacokinetics, immunogenicity, manufacturing requirements, and therapeutic combinations may differ substantially between platforms. Comparative research should therefore stratify findings according to vaccine technology rather than treating all vaccines as mechanistically interchangeable.

Nucleic-acid vaccine platforms deserve particular attention because they illustrate the increasing convergence between molecular engineering and pharmacology. Messenger-RNA approaches permit transient intracellular production of encoded antigens, while DNA-based platforms use nucleic-acid delivery to support antigen expression. Their therapeutic behavior depends on cellular uptake, intracellular trafficking, translational efficiency, innate immune sensing, degradation kinetics, tissue distribution, and formulation characteristics. Delivery technologies, including lipid-based systems and other nanoscale carriers, can substantially influence these processes. Consequently, formulation science becomes an integral component of vaccine pharmacology.

Nanotechnology has further expanded the potential pharmacological control of vaccine delivery. Nanoparticle-based formulations may modify antigen stability, cellular uptake, lymphatic trafficking, dendritic-cell targeting, and release kinetics. They may also permit co-delivery of antigens and immunomodulatory components. However, increased formulation complexity introduces additional considerations related to biodistribution, manufacturing consistency, immunotoxicity, biodegradation, and regulatory characterization. The therapeutic advantage of nanoscale delivery must therefore be demonstrated against its additional safety and manufacturing complexity.

Route of administration similarly affects pharmacodynamic behavior. Intradermal, subcutaneous, intramuscular, intravenous, intratumoral, and other approaches produce different anatomical exposure patterns and interact with distinct immune-cell populations. Local administration may facilitate antigen delivery to immune-rich tissues or directly modify the tumor microenvironment, whereas systemic administration may support broader distribution. The optimal route is therefore dependent upon platform, tumor location, target biology, formulation, and desired immune response.

Adjuvant selection is equally consequential. An adjuvant can amplify innate immune signaling and improve antigen presentation, but excessive stimulation may increase systemic inflammatory toxicity. The optimal adjuvant should therefore maximize productive immunological activation while preserving tolerability. Adjuvant pharmacology should be incorporated into dose optimization, especially when vaccines are combined with checkpoint inhibitors or other immune-active therapies.

The evidence synthesis also identifies host immunological status as a major source of interindividual variability. Age, previous treatment exposure, immunosuppressive medication, nutritional status, comorbidities, microbiome composition, hematological reserve, HLA genotype, and baseline immune-cell populations can influence vaccine responsiveness. Older patients may possess immunosenescent features, whereas heavily pretreated individuals may have impaired lymphocyte function or altered immune repertoires. Such variability supports the development of patient-selection algorithms that incorporate immunological and clinical characteristics rather than relying exclusively on tumor histology.

Pharmacogenomic information may become increasingly relevant in this context. HLA genotype directly affects peptide presentation, while other germline and somatic genetic determinants may influence immune responsiveness. The integration of genomic information into vaccine design therefore extends precision medicine beyond tumor-target selection toward individualized prediction of immune recognition. Nevertheless, the predictive validity of individual biomarkers remains heterogeneous, and multimodal models may be more informative than isolated genomic variables.

The tumor mutational landscape also influences vaccine feasibility. Tumors with high mutational burden may contain larger numbers of potential neoantigens, although mutation quantity alone does not guarantee immunogenicity. The functional quality of mutations, clonality, transcriptional expression, HLA presentation, and immune accessibility remain critical. Conversely, tumors with relatively low mutational burdens may still contain therapeutically valuable antigens arising from gene fusions, aberrant expression, viral proteins, or other molecular abnormalities.

The results therefore support an antigen-quality framework rather than a simple mutation-count paradigm. Candidate antigens should be prioritized according to molecular authenticity, expression, clonality, HLA presentation, immunogenicity, tumor specificity, evolutionary stability, and therapeutic accessibility. Such multidimensional prioritization could improve the clinical efficiency of personalized vaccine development.

Artificial intelligence and machine-learning approaches may substantially facilitate this process. Computational algorithms can integrate genomic, transcriptomic, proteomic, HLA, immunopeptidomic, and clinical data to identify candidate epitopes and predict immunogenicity. However, algorithmic prediction remains probabilistic and susceptible to dataset bias, inadequate validation, and biological complexity. The results therefore support AI as a decision-support technology rather than a substitute for experimental and clinical validation.

An important finding concerns the necessity of prospective validation of computational predictions. Candidate neoantigens identified in silico should ideally be evaluated through appropriate laboratory assays examining antigen processing, HLA presentation, T-cell activation, and functional cytotoxicity. Integration of computational and experimental evidence can reduce false-positive antigen selection and strengthen the translational reliability of individualized vaccine design.

The analysis further identifies tumor antigen loss as one of the central mechanisms of vaccine resistance. Malignant cells can escape immune pressure through downregulation or deletion of target antigens, defects in antigen-processing machinery, HLA loss, impaired interferon signaling, or alterations in immune recognition pathways. These mechanisms demonstrate that effective vaccine design must anticipate evolutionary escape rather than treating tumor antigenicity as static.

Combination strategies may mitigate antigen-loss resistance by simultaneously targeting multiple independent antigens or by combining vaccination with therapies that restore antigen presentation. Multi-epitope vaccines may reduce the probability that a single antigenic alteration

will eliminate immune recognition. However, increasing antigen breadth can also increase manufacturing complexity and potentially generate immunodominance competition. Rational antigen architecture is therefore preferable to indiscriminate epitope expansion.

The tumor microenvironment also contributes to immune resistance through metabolic mechanisms. Hypoxia, glucose deprivation, altered lipid metabolism, extracellular adenosine, lactate accumulation, and nutrient competition can impair lymphocyte function. Consequently, immunological activation alone may be insufficient when effector cells encounter metabolically hostile conditions. Pharmacological modulation of tumor metabolism may therefore represent an important future adjunct to vaccination.

Myeloid-cell populations constitute another critical therapeutic determinant. Tumor-associated macrophages and myeloid-derived suppressor cells can inhibit T-cell activation, promote angiogenesis, facilitate invasion, and support immune tolerance. Strategies that modify myeloid-cell recruitment or polarization may consequently enhance vaccine-mediated immunity. However, broad depletion of myeloid populations may produce unintended effects because these cells also contribute to tissue repair and host defense. Selective modulation rather than indiscriminate elimination may therefore provide a more favorable therapeutic balance.

Regulatory T cells represent an additional barrier to effective vaccination. Their immunosuppressive activity can restrict effector-cell function and promote tolerance within the tumor microenvironment. Pharmacological strategies that modulate regulatory T-cell activity could theoretically improve vaccine effectiveness, but systemic disruption of immune tolerance carries a risk of autoimmunity and inflammatory toxicity. This illustrates the central therapeutic challenge of cancer immunotherapy: increasing antitumor immunity while maintaining sufficient self-tolerance.

The safety analysis demonstrates that the toxicity profile of anticancer vaccines differs conceptually from that of traditional cytotoxic agents. Vaccine-associated adverse events may arise from local inflammatory responses, systemic cytokine signaling, adjuvant effects, immune activation, autoimmune phenomena, or interactions with other immunotherapies. The severity and clinical significance of these events depend upon platform, antigen, adjuvant, combination therapy, patient susceptibility, and treatment schedule.

Local administration-site reactions may represent common manifestations of immune activation, whereas systemic inflammatory symptoms can include fever, fatigue, chills, malaise, or transient constitutional effects. Although many events may be manageable, rare immune-mediated toxicities can be clinically consequential, particularly when vaccines are combined with immune checkpoint blockade. Therefore, safety assessment must extend beyond frequency counts to include severity, reversibility, duration, organ involvement, temporal association, management requirements, and long-term consequences.

The analysis emphasizes that pharmacovigilance for anticancer vaccines requires specialized causality assessment. In combination regimens, attribution of an adverse event to a single component may be difficult because multiple interventions can produce overlapping inflammatory or immune-mediated effects. Traditional temporal association alone is insufficient. Clinical assessment should integrate treatment chronology, biological plausibility, alternative explanations, concomitant medications, dose relationships, dechallenge and rechallenge information where ethically appropriate, laboratory findings, and known safety profiles.

Serious adverse-event monitoring is particularly important because some immune-mediated complications may emerge after substantial treatment delay. Longitudinal follow-up is therefore essential. Conventional trial follow-up periods may be insufficient to characterize delayed autoimmune or inflammatory outcomes, especially for interventions designed to generate durable immune memory. Pharmacovigilance systems should consequently incorporate extended

surveillance.

The results also demonstrate the importance of distinguishing vaccine-related toxicity from disease-related symptoms and treatment-related effects of combination therapies. Fatigue, fever, inflammatory markers, cytopenias, gastrointestinal symptoms, endocrine disturbances, dermatological manifestations, and organ-specific abnormalities may have multiple possible causes. Multidisciplinary clinical assessment is therefore essential for accurate attribution and management.

Clinical pharmacists may occupy a particularly important position in this safety architecture. Their expertise in medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event monitoring, supportive pharmacotherapy, adherence, dose modification, and patient education can strengthen the safe implementation of complex vaccine-containing regimens. As anticancer therapy becomes increasingly multimodal, medication-management expertise becomes more important rather than less.

Drug–vaccine interactions should also be considered within the broader pharmacotherapeutic framework. Immunosuppressive corticosteroids, cytotoxic chemotherapy, targeted agents, antimicrobial therapies, supportive medications, and other drugs may alter immune responsiveness or modify adverse-event presentation. The clinical significance of such interactions depends upon dose, timing, treatment duration, mechanism, and patient-specific factors. Consequently, medication history should be incorporated into vaccine treatment planning.

The analysis further identifies corticosteroid exposure as a particularly nuanced issue. Corticosteroids may be necessary for management of certain inflammatory complications but can theoretically suppress vaccine-induced immune responses when used during critical phases of immune priming. The clinical balance between controlling harmful inflammation and preserving therapeutic immunity therefore requires individualized assessment. Blanket avoidance or universal continuation of immunosuppressive therapy is unlikely to be appropriate across all clinical contexts.

The benefit–risk relationship is another central result. Anticancer vaccine development should not be judged exclusively according to whether an immune response is generated or whether statistical significance is achieved for an isolated endpoint. Therapeutic value requires consideration of magnitude of benefit, durability, toxicity, quality of life, treatment burden, alternative therapies, patient preferences, cost, and feasibility. A modest increase in progression-free survival may be highly meaningful in one clinical context but less compelling when accompanied by substantial toxicity or complex treatment requirements.

Patient-centered outcomes therefore represent a critical component of vaccine evaluation. Overall survival remains an essential endpoint, but patients may also value symptom control, functional status, independence, treatment convenience, psychological well-being, and quality of life. Patient-reported outcomes should be incorporated systematically into clinical research because conventional tumor measurements may fail to capture meaningful changes in lived health status.

Treatment burden is particularly relevant for personalized vaccines. Individualized manufacturing may require multiple procedures, molecular sequencing, bioinformatic processing, quality-control stages, specialized administration, and repeated clinical visits. Such complexity can create logistical burdens for patients and healthcare systems. Consequently, the clinical value of personalization should be evaluated against the resources required to deliver it.

The economic analysis of personalized vaccination is therefore inherently multidimensional. Costs may include genomic sequencing, bioinformatics, vaccine manufacture, quality assurance, clinical administration, monitoring, adverse-event management, hospitalization, and long-term

surveillance. Economic value should not be assessed solely by acquisition cost. Prevention of recurrence, reduction of subsequent treatment requirements, prolonged survival, and improved quality of life may alter the overall cost-effectiveness profile.

Healthcare-system capacity also influences real-world effectiveness. A highly sophisticated individualized vaccine may demonstrate impressive efficacy in specialized academic centers while remaining difficult to implement in resource-constrained environments. The translational pathway from clinical trial to routine care therefore requires assessment of laboratory infrastructure, manufacturing capability, molecular diagnostics, specialist expertise, data systems, regulatory pathways, and reimbursement mechanisms.

The results consequently indicate a distinction between efficacy and effectiveness. Efficacy describes performance under controlled research conditions, whereas effectiveness reflects outcomes under routine clinical conditions characterized by heterogeneous patients, variable adherence, comorbidities, treatment interruptions, institutional differences, and resource constraints. Real-world evidence is therefore essential for determining whether the benefits observed in controlled studies remain reproducible at population level.

Real-world pharmacovigilance can provide information that randomized trials are structurally limited in capturing. Rare adverse events, long-term outcomes, off-label combinations, diverse populations, elderly patients, patients with comorbidities, and complex polypharmacy are often underrepresented in clinical trials. Spontaneous reporting systems, electronic health records, registries, insurance datasets, and distributed real-world data networks can therefore complement controlled clinical evidence.

Nevertheless, real-world evidence requires methodological discipline. Confounding by indication, selection bias, missing data, exposure misclassification, immortal-time bias, surveillance bias, and differences in clinical practice can distort associations. Advanced pharmacoepidemiological methods, propensity-based approaches, target-trial emulation, sensitivity analyses, and causal-inference frameworks can improve interpretability.

Causal inference is especially important when evaluating combination immunotherapies. Patients receiving highly intensive treatment may differ systematically from those receiving less intensive regimens. Better outcomes may therefore reflect baseline prognostic differences rather than treatment effects. Conversely, apparently unfavorable outcomes may reflect preferential treatment of high-risk patients. The analysis supports rigorous causal frameworks to distinguish therapeutic effects from treatment-selection effects.

Clinical trial heterogeneity represents another important methodological issue. Vaccine studies differ in cancer type, disease stage, antigen target, vaccine platform, adjuvant, combination therapy, dosing schedule, endpoint definitions, biomarker strategies, and follow-up duration. Direct comparison across studies can therefore be problematic. Evidence synthesis should account for these sources of heterogeneity rather than assuming interchangeability.

The use of standardized endpoint definitions and harmonized reporting frameworks would improve cross-study comparability. Detailed reporting of vaccine composition, antigen-selection algorithms, HLA characteristics, immune-monitoring methods, manufacturing parameters, concomitant therapies, toxicity definitions, and follow-up duration is particularly important for personalized therapeutic platforms.

The results also highlight the importance of regulatory science. Personalized anticancer vaccines challenge conventional pharmaceutical regulatory models because the final therapeutic product may differ between individual patients. Regulatory systems must therefore evaluate manufacturing processes, platform consistency, computational antigen selection, quality-control criteria, release specifications, and clinical evidence in ways that preserve safety without unnecessarily restricting innovation.

Manufacturing reproducibility is a critical issue. Individualized products may involve short production timelines and highly complex workflows. Quality-control processes must ensure identity, purity, potency, sterility, stability, and consistency while accommodating patient-specific sequence information. The integration of automation, standardized manufacturing platforms, validated computational pipelines, and centralized quality systems may improve scalability.

The analytical findings further suggest that digitalization will become increasingly important. Electronic health records, molecular databases, pharmacovigilance platforms, wearable technologies, remote monitoring, and patient-reported digital outcomes can create longitudinal datasets linking treatment exposure, biological response, toxicity, and clinical outcomes. Such integrated data architecture could substantially improve individualized therapeutic monitoring.

Digital pharmacovigilance may facilitate earlier recognition of adverse-event patterns. Automated signal detection can identify unusual clusters of symptoms or laboratory abnormalities, while natural-language processing may extract safety information from clinical documentation. However, algorithmic detection must be followed by expert clinical validation because automated signals may reflect documentation artifacts, coding changes, or noncausal associations.

The analysis also identifies the importance of patient participation in pharmacovigilance. Patients may experience symptoms that are not immediately communicated through conventional clinical pathways. Digital reporting systems and patient-reported adverse-event platforms could expand the sensitivity of safety surveillance. However, such systems must incorporate appropriate clinical triage and data-quality mechanisms.

The psychological dimension of personalized immunotherapy should not be overlooked. Patients may perceive individualized vaccine therapy as technologically sophisticated and therefore expect substantial therapeutic benefit. Accurate communication concerning uncertainty, probability of response, potential toxicity, manufacturing limitations, and alternative treatments is essential to avoid unrealistic expectations. Shared decision-making should therefore accompany precision therapeutic design.

Ethical considerations become particularly important when individualized molecular information is used to construct therapeutic products. Genomic sequencing generates information with implications for privacy, data governance, incidental findings, familial relevance, and long-term data storage. Ethical frameworks must therefore extend beyond conventional informed consent to address the lifecycle of molecular data.

The analysis further supports integration of tumor genomics with host genomics. Precision oncology has historically focused predominantly on somatic tumor alterations, but immune-mediated therapy is intrinsically influenced by host characteristics. HLA genotype, germline immune-related variants, age-related immune changes, and other host factors may influence vaccine responsiveness. Future therapeutic algorithms may therefore require joint tumor–host molecular profiling.

Microbiome biology represents another emerging determinant of immunotherapy response. Gut microbial composition can influence immune tone, antigen presentation, metabolic signaling, and response to certain immunotherapies. Although causal relationships remain incompletely characterized, microbiome-related variables may eventually become components of individualized therapeutic prediction. The analysis cautions, however, against premature clinical adoption without robust validation.

The interaction between nutrition and immunological responsiveness similarly merits further investigation. Protein-energy malnutrition, micronutrient deficiency, obesity, metabolic syndrome, and altered lipid metabolism may influence immune-cell function and treatment

tolerance. Nutritional assessment could therefore become a supportive component of comprehensive vaccine pharmacotherapy.

Comorbidities also contribute to treatment heterogeneity. Cardiovascular disease, renal impairment, hepatic dysfunction, autoimmune conditions, endocrine disorders, and chronic inflammatory diseases may alter treatment eligibility, toxicity risk, or immune responsiveness. Although anticancer vaccines may have different organ-specific toxicity profiles from conventional chemotherapy, comorbidity assessment remains essential for individualized treatment planning.

The results indicate that geriatric oncology presents a particularly important area for further investigation. Older patients are frequently underrepresented in early clinical trials despite representing a substantial proportion of cancer populations. Immunosenescence, polypharmacy, frailty, altered pharmacological handling of concomitant medications, and competing mortality risks can influence treatment outcomes. Vaccine research should therefore incorporate geriatric-specific endpoints and real-world evidence.

Pediatric and adolescent oncology presents a different translational context. Tumor biology, immune development, ethical requirements, and long-term survivorship considerations differ from adult cancer populations. The potential for durable immune surveillance may be particularly valuable in younger populations, but long-term safety and developmental considerations require dedicated investigation.

The results also support investigation of sex-related biological differences in vaccine response. Hormonal, genetic, immunological, and behavioral factors may contribute to differential treatment effects. Clinical trials should therefore examine sex-stratified efficacy and safety rather than treating demographic differences as secondary variables.

The role of ethnicity and population diversity also warrants greater attention. HLA allele frequencies and genetic determinants of antigen presentation vary among populations, potentially influencing neoantigen selection and vaccine responsiveness. Underrepresentation of diverse populations could therefore create inequities in the applicability of individualized vaccine technologies. Global vaccine development should prioritize representative datasets and equitable access to molecular diagnostics.

The analytical synthesis further demonstrates that cancer vaccine pharmacotherapy is inherently longitudinal. A single baseline characterization cannot fully capture a tumor that evolves under therapeutic pressure. Repeated genomic profiling, immune monitoring, imaging, circulating biomarkers, and clinical assessment may therefore be necessary. Adaptive treatment models can incorporate this evolving information to modify therapeutic strategies.

Adaptive vaccination represents a particularly promising conceptual development. Instead of treating the vaccine formulation as permanently fixed, future systems may permit modification according to emerging tumor antigens or resistance-associated alterations. Such strategies would transform therapeutic vaccination into a dynamic pharmacological intervention responsive to tumor evolution.

The feasibility of adaptive strategies depends on manufacturing speed. Personalized vaccine production must occur rapidly enough to remain biologically relevant to the patient's disease trajectory. Accelerated sequencing, automated bioinformatics, modular manufacturing, and decentralized production could improve responsiveness. Nevertheless, rapid manufacturing must not compromise quality-control standards.

The integration of artificial intelligence into adaptive treatment planning may further enhance responsiveness. Machine-learning systems could analyze serial molecular data, imaging, immune signatures, and clinical outcomes to estimate emerging resistance and propose candidate treatment modifications. However, clinical implementation requires prospective validation,

interpretability, external validation, and rigorous governance.

Another major finding concerns the potential role of therapeutic vaccination in combination with cellular therapies. Adoptive T-cell approaches and chimeric antigen receptor technologies can provide large numbers of engineered or selected effector cells. Vaccination may theoretically broaden or sustain endogenous immune responses after cellular therapy. Conversely, cellular therapies may amplify responses generated by vaccination. Such combinations could create complementary mechanisms of tumor targeting, although cumulative immune toxicity remains a major consideration.

Antibody-mediated immunity also deserves attention. Although T-cell responses have traditionally dominated therapeutic vaccine research, B-cell activation and antibody production may contribute to tumor recognition, complement activation, antibody-dependent cellular cytotoxicity, and antigen presentation. Some tumor-associated antigens may therefore be susceptible to coordinated cellular and humoral immune responses. Vaccine design should not automatically assume that one arm of adaptive immunity is therapeutically sufficient.

The analysis further supports investigation of tertiary lymphoid structures and organized intratumoral immune architecture. The presence of structured immune-cell niches may influence the capacity of vaccine-induced lymphocytes to establish local antitumor responses. Tissue-level immune organization may therefore complement peripheral immune measurements as a predictor of therapeutic effectiveness.

Spatial biology may provide additional information unavailable through conventional molecular profiling. Spatial transcriptomics, multiplex imaging, and single-cell technologies can characterize the anatomical relationships among tumor cells, antigen-presenting cells, lymphocytes, macrophages, fibroblasts, and vascular structures. Such approaches may identify why a vaccine-induced immune response fails to translate into tumor elimination despite robust systemic immunogenicity.

Single-cell analysis further demonstrates that immune responses are heterogeneous at cellular level. T-cell populations can differ in exhaustion status, differentiation, clonality, metabolic state, and functional capacity. A quantitative increase in total T cells may therefore conceal an unfavorable shift in functional composition. Pharmacodynamic assessment should consequently consider cellular quality as well as cellular quantity.

T-cell receptor repertoire analysis may provide another valuable biomarker. Expansion of specific clones following vaccination can demonstrate antigen-directed immune selection, while persistence of those clones may indicate immunological memory. However, clonotype expansion alone does not establish tumor specificity, and functional validation remains essential.

The relationship between immune activation and systemic toxicity also requires careful evaluation. Stronger immune activation is not necessarily equivalent to better therapeutic efficacy. Excessive inflammatory signaling may increase toxicity without proportionally improving tumor elimination. The optimal therapeutic state may therefore involve selective, sustained, tumor-directed immunity rather than maximal generalized immune stimulation.

This observation reinforces the concept of an immunological therapeutic window. Conventional pharmacology frequently conceptualizes the therapeutic window in terms of drug concentration and toxicity. For vaccines, the relevant window may instead encompass the balance between antigen-specific immune activation, systemic inflammation, autoimmunity, and durable tumor control. Biomarkers capable of quantifying this balance could substantially improve dose and schedule optimization.

The results also suggest that dose escalation paradigms used for cytotoxic drugs may be insufficient for vaccine development. Higher antigen dose or stronger adjuvant stimulation does not necessarily produce proportionally greater therapeutic benefit. Immune responses can exhibit

nonlinear relationships with antigen exposure, and excessive stimulation may induce tolerance, exhaustion, or toxicity. Dose-finding should therefore incorporate immunological pharmacodynamics rather than relying exclusively on conventional maximum-tolerated-dose concepts.

The timing of immune monitoring should likewise reflect biological kinetics. Measurements taken too early may underestimate the eventual immune response, while very late measurements may miss transient pharmacodynamic signals. Serial sampling provides a more informative picture of immune trajectory and can identify responders, nonresponders, and emerging resistance patterns.

Clinical response heterogeneity emerged as another consistent finding. Some patients may demonstrate profound and durable responses, while others exhibit minimal biological activity despite apparently similar vaccine exposure. This heterogeneity is unlikely to arise from a single determinant. Rather, it reflects interactions among tumor antigenicity, HLA genotype, immune competence, microenvironmental composition, tumor burden, previous treatment, microbiome, and genetic background.

Responder stratification therefore represents a central objective of future research. Biomarker-defined treatment selection may improve clinical trial efficiency and reduce exposure of unlikely responders to complex personalized interventions. However, restrictive biomarker selection may also exclude patients who could benefit through mechanisms not captured by current predictive models. Therefore, biomarker development should balance precision with inclusiveness.

The evidence further indicates that treatment resistance should be classified mechanistically. Primary resistance occurs when vaccination fails to establish clinically meaningful antitumor activity from the outset, whereas acquired resistance emerges after an initial response. Mechanisms may include inadequate antigen presentation, immune exclusion, checkpoint-mediated suppression, antigen loss, clonal evolution, metabolic adaptation, or immune exhaustion. Mechanism-specific resistance classification can guide rational combination strategies.

The role of immune checkpoint pathways is particularly relevant in acquired resistance. Persistent antigen exposure can lead to T-cell dysfunction, characterized by altered receptor expression, metabolic impairment, and reduced effector activity. Checkpoint blockade can restore certain functions but does not universally reverse advanced exhaustion. Vaccine design may therefore need to consider the differentiation state of available T-cell populations.

The analysis also suggests that vaccines may be more effective when administered before irreversible immune dysfunction develops. This provides a biological rationale for earlier treatment, maintenance strategies, and minimal-residual-disease interventions. In advanced disease, vaccination may still be valuable, but combination approaches may be required to overcome established immune suppression.

From a pharmacotherapeutic perspective, the ideal role of vaccination may therefore differ across disease stages. In prevention, the objective is elimination or prevention of precursor or premalignant lesions where antigenic burden is limited. In the adjuvant setting, the objective is eradication of microscopic residual disease. In metastatic disease, vaccination may need to operate within a highly immunosuppressive and heterogeneous tumor environment. Consequently, the same vaccine platform may demonstrate substantially different therapeutic performance across clinical contexts.

The results support a stage-specific therapeutic framework in which vaccine strategy is adapted to disease burden, tumor molecular architecture, immune status, and treatment history. Such an approach is more consistent with precision pharmacotherapy than a uniform treatment model.

The integration of pharmacovigilance with therapeutic efficacy assessment is another important

result. Safety surveillance should not be treated as a separate post-treatment activity. Adverse-event information can influence treatment sequencing, dose modification, combination selection, patient stratification, and future vaccine design. Continuous safety feedback can therefore function as a component of therapeutic optimization.

Signal detection should incorporate both frequency and clinical seriousness. A rare but severe adverse event may be more important than a frequent mild event. Similarly, a moderate event that becomes substantially more common when a vaccine is combined with another immunotherapy may represent an important interaction signal. Disproportionality analyses, longitudinal cohort studies, and mechanistic investigation can complement spontaneous reporting.

The value of pharmacovigilance is particularly high for personalized vaccines because clinical trials may involve small patient populations. Rare events may therefore not be detectable before widespread implementation. Post-marketing or post-authorization surveillance becomes indispensable for characterizing uncommon toxicities and long-term outcomes.

The analysis further indicates that vaccine traceability is essential. Personalized products must be linked accurately to patient identity, molecular sequence, manufacturing lot, administration date, concomitant therapies, and clinical outcomes. Such traceability supports both pharmacovigilance and quality assurance.

The importance of interdisciplinary collaboration emerges repeatedly throughout the findings. Effective anticancer vaccine development requires oncologists, clinical pharmacologists, immunologists, molecular biologists, bioinformaticians, pharmacists, pharmacovigilance specialists, statisticians, regulatory scientists, pathologists, radiologists, and health economists. Fragmented disciplinary approaches are unlikely to capture the complexity of therapeutic vaccine systems.

Clinical pharmacists can additionally contribute to medication optimization in patients receiving multimodal therapy. Medication reconciliation can identify immunosuppressive drugs, anticoagulants, antimicrobial therapies, supportive medications, and other agents that may influence treatment safety. Pharmacist-led monitoring may also improve adherence to complex schedules and patient understanding of adverse-event management.

The analysis suggests that education of healthcare professionals must evolve accordingly. Traditional oncology training may not adequately cover individualized vaccine manufacturing, molecular diagnostics, pharmacogenomics, immune-mediated toxicities, or advanced pharmacovigilance. Continuing professional development should therefore incorporate these emerging competencies.

Patient education is equally important. Patients should understand that vaccine therapy is not equivalent to preventive vaccination against infectious disease. Therapeutic cancer vaccines are pharmacological interventions designed to stimulate immune recognition of malignant cells. Clear explanation of expected onset, potential delayed response, adverse effects, monitoring requirements, and uncertainty can support informed participation.

The results also indicate that adherence may have a distinct meaning in individualized immunotherapy. Adherence includes not only taking medication but attending vaccination appointments, completing laboratory monitoring, providing biological samples, undergoing imaging, and reporting symptoms promptly. Complex therapeutic pathways may therefore create adherence vulnerabilities that require structured support.

Real-world implementation further requires reliable diagnostic infrastructure. Personalized neoantigen approaches depend on sequencing quality, bioinformatic interpretation, HLA typing, pathology, and validated molecular laboratories. Unequal access to these resources could create disparities in treatment availability.

Global health considerations are therefore central. High-complexity personalized therapies may initially remain concentrated in technologically advanced centers. Strategies for scalable manufacturing, centralized sequencing, regional distribution, and standardized quality systems could expand access. However, economic and infrastructural barriers must be addressed explicitly.

The analysis also highlights the importance of harmonized international regulatory standards. Differences in requirements for personalized biological products may complicate multinational trials and cross-border implementation. Harmonization could accelerate development while maintaining appropriate safety oversight.

From the perspective of evidence-based medicine, the current evidence base should be interpreted according to hierarchy, methodological quality, consistency, and external validity. Early-phase trials are essential for establishing feasibility and biological activity but generally lack statistical power for definitive clinical efficacy conclusions. Randomized controlled trials provide stronger causal evidence, whereas real-world studies contribute complementary information regarding generalizability and long-term safety.

Systematic reviews and meta-analyses can synthesize evidence but may be limited by heterogeneity among vaccine platforms and clinical settings. Quantitative pooling should therefore be undertaken cautiously when interventions are mechanistically heterogeneous. Narrative and network-based synthesis may sometimes provide more scientifically appropriate interpretation than indiscriminate statistical aggregation.

Surrogate endpoints require particular scrutiny. Increased immune-cell counts, antibody titers, cytokine responses, or biomarker changes may correlate with clinical outcomes but should not automatically be considered substitutes for survival or validated patient-centered endpoints. Surrogacy must be demonstrated empirically within appropriate disease and treatment contexts.

The analysis indicates that future trials should increasingly incorporate composite translational designs linking molecular, immunological, radiographic, and clinical outcomes. Such designs can establish mechanistic pathways from vaccine exposure through immune activation to tumor control and survival. This integrated structure can improve both biological understanding and clinical interpretation.

Adaptive clinical trial methodologies may be particularly suitable for personalized vaccines. Bayesian designs, biomarker-adaptive randomization, platform trials, and seamless phase transitions could accelerate evaluation of multiple vaccine formulations or antigen-selection algorithms. However, methodological sophistication must remain balanced against interpretability and regulatory acceptability.

The findings also support master-protocol approaches. Platform trials could evaluate multiple vaccine platforms, antigenic strategies, or combination therapies within shared infrastructure. This could reduce duplication, accelerate comparison, and permit more efficient evaluation of emerging technologies.

The concept of platform-based evidence generation is particularly attractive because individualized vaccines can evolve rapidly. Rather than creating a separate conventional trial for every molecular modification, validated manufacturing and analytical platforms could permit structured evaluation of multiple individualized products under a common regulatory and methodological framework.

The analysis further identifies the need for standardized reporting of negative results. Publication bias may disproportionately favor vaccine platforms or antigen strategies showing positive immunogenicity or clinical outcomes. Transparent reporting of unsuccessful antigen targets, manufacturing failures, adverse-event patterns, and negative clinical trials is essential for scientific progress.

The role of open data and reproducible computational methods is similarly important. Neoantigen prediction depends on algorithms whose performance can vary across populations and datasets. Transparent validation, benchmarking, and reproducibility can improve confidence in computationally derived therapeutic decisions.

The synthesis indicates that clinical utility ultimately depends on the ability to convert complex biological information into actionable treatment decisions. Precision oncology should therefore not be defined merely by the quantity of molecular data collected. True precision requires demonstrable improvement in therapeutic selection, outcomes, safety, or efficiency.

This distinction is crucial because technological sophistication does not automatically produce clinical benefit. Whole-genome sequencing, transcriptomics, single-cell analysis, spatial profiling, and AI can generate enormous datasets, but their clinical value depends on validated associations and effective integration into decision pathways. The future of anticancer vaccination should therefore prioritize clinically actionable precision rather than informational complexity for its own sake.

Another important result is the increasing relevance of systems pharmacology. Vaccine-induced immune responses occur within interconnected biological networks rather than isolated molecular pathways. Systems-level modeling can integrate antigen presentation, cytokine signaling, immune-cell interactions, tumor evolution, pharmacological exposure, and clinical outcomes. Such models may provide more realistic predictions of therapeutic response than single-target analyses.

Mechanistic modeling could also assist in treatment sequencing. Mathematical and computational models may estimate how tumor burden, immune-cell expansion, antigen loss, and drug exposure evolve over time. These models could eventually support individualized scheduling decisions, although clinical validation remains necessary.

The integration of systems biology with pharmacovigilance may similarly improve safety prediction. Patients with particular immune profiles or treatment combinations may possess higher risks of specific inflammatory complications. Predictive safety models could identify high-risk individuals before severe toxicity develops, allowing intensified monitoring or prophylactic intervention.

The results also demonstrate that therapeutic vaccination should increasingly be considered a longitudinal pharmacological intervention rather than a discrete treatment event. Its effects can extend across months or years through immune memory, tumor evolution, and delayed clinical outcomes. Consequently, both efficacy and safety assessment must adopt a long-term perspective.

Survivorship research therefore becomes relevant. Patients who achieve prolonged disease control may continue to experience immune-mediated effects, treatment-related sequelae, psychological consequences, and monitoring burdens. Long-term survivorship outcomes should be incorporated into vaccine-development programs.

The relationship between durable response and immune memory is particularly important. A successful vaccine may theoretically alter the natural history of malignancy by creating persistent immune surveillance. This distinguishes therapeutic vaccination from many conventional pharmacological interventions whose effects diminish rapidly after drug discontinuation. However, durable immune protection must be demonstrated clinically rather than inferred from immunological markers alone.

The analysis suggests that recurrence prevention could become one of the most important long-term endpoints for therapeutic vaccination. If individualized vaccines can effectively eliminate microscopic residual disease, their greatest clinical value may emerge over extended follow-up rather than during initial treatment response assessment.

The evidence further supports combining molecular residual disease monitoring with immune surveillance. Patients with persistent molecular disease despite strong immune activation may require treatment intensification, whereas patients achieving molecular clearance may potentially transition to surveillance. Such strategies remain investigational but illustrate the potential for adaptive precision pharmacotherapy.

The therapeutic significance of tumor evolution should therefore be incorporated into follow-up protocols. Molecular recurrence may precede radiographic progression, creating an opportunity for early therapeutic intervention. If validated, this could transform treatment from reactive management of measurable progression to proactive control of emerging molecular disease.

Another result concerns the potential role of vaccines in altering the evolutionary trajectory of cancer. By targeting multiple tumor-specific antigens, vaccination may constrain clonal diversity and reduce the probability of immune escape. Conversely, strong selective pressure may accelerate emergence of resistant clones. Understanding this balance is essential for designing evolutionary-informed vaccine strategies.

Evolutionary oncology therefore provides an important conceptual framework for therapeutic vaccination. The optimal treatment may not necessarily maximize immediate tumor-cell killing; instead, it may maintain long-term control by preventing expansion of resistant populations. Combination therapy and antigen diversification may be used to reduce evolutionary escape routes.

The results also highlight the potential importance of treatment holidays or modified sequencing in selected circumstances. Continuous pharmacological pressure can impose strong selective forces, whereas strategically designed treatment modulation could potentially preserve sensitive populations or restore immune responsiveness. Such approaches require rigorous clinical testing and should not be generalized without evidence.

The concept of adaptive pharmacotherapy may ultimately extend beyond vaccine composition to the entire treatment regimen. Molecular monitoring could inform whether vaccination, checkpoint blockade, targeted therapy, radiation, or another intervention should be intensified, maintained, substituted, or discontinued.

From a clinical decision-making perspective, this requires development of integrated treatment algorithms that combine tumor molecular characteristics, immune phenotype, disease burden, prior treatment, toxicity risk, patient preferences, and real-world feasibility. Such algorithms should remain transparent and clinically interpretable.

The results also demonstrate that patient preferences may legitimately influence treatment selection. Personalized vaccine therapy can involve substantial procedural and monitoring requirements. Some patients may prioritize maximal disease control, whereas others may prioritize reduced treatment burden or preservation of quality of life. Shared decision-making should therefore incorporate patient-defined outcomes.

Health-system decision-makers similarly require evidence concerning cost, scalability, infrastructure, and population-level benefit. A therapy can demonstrate statistically significant efficacy yet remain difficult to implement if manufacturing requirements are prohibitive. Conversely, platform technologies that reduce production time and cost may possess substantial health-system value even if their individual clinical effect is moderate.

The pharmacoeconomic evaluation of personalized vaccination should therefore consider downstream consequences. Successful recurrence prevention could reduce subsequent chemotherapy, hospitalization, radiation, surgery, and supportive-care costs. Such downstream effects may substantially influence long-term economic value.

The analysis further identifies an opportunity for decentralized manufacturing and modular vaccine platforms. Centralized facilities may provide quality control but can introduce logistical

delays. Regional manufacturing could reduce turnaround times but would require rigorous harmonization and quality assurance. Hybrid models may ultimately provide the best balance between scalability and standardization.

The integration of automation could further improve reproducibility. Automated sequencing pipelines, antigen-selection algorithms, manufacturing systems, and quality-control procedures may reduce human variability. Nevertheless, human oversight remains necessary for clinical interpretation and safety decisions.

The findings collectively demonstrate that anticancer vaccine pharmacotherapy is evolving from a relatively static concept of antigen delivery toward an adaptive, data-intensive therapeutic ecosystem. This ecosystem incorporates molecular diagnostics, individualized antigen selection, immune modulation, multimodal treatment, longitudinal monitoring, pharmacovigilance, and patient-centered outcomes.

The central scientific implication is that therapeutic efficacy cannot be attributed to the vaccine formulation alone. Outcomes arise from the interaction between vaccine characteristics and the biological state of the patient and tumor. Consequently, future clinical trials should increasingly characterize the complete therapeutic context rather than treating vaccine exposure as the sole explanatory variable.

A second major implication is that pharmacology must expand beyond conventional exposure-based concepts. In anticancer vaccination, pharmacological behavior includes antigen expression, immune-cell activation, cellular trafficking, immune memory, tumor evolution, and interactions with the host immune network. The pharmacodynamic endpoint is therefore multidimensional and temporally dynamic.

A third implication concerns pharmacovigilance. Safety monitoring should become integrated with precision medicine rather than functioning solely as a post-authorization surveillance mechanism. Molecular and immunological characteristics may eventually contribute to individualized toxicity prediction, enabling risk-adapted monitoring.

A fourth implication concerns evidence-based medicine. The rapidly changing technological environment requires evidence frameworks capable of accommodating individualized products, adaptive trial designs, real-world data, and dynamic treatment algorithms. Traditional hierarchical evidence models remain important but may require methodological adaptation to complex personalized interventions.

A fifth implication concerns clinical pharmacotherapy. Vaccine therapy should be incorporated into comprehensive medication-management systems. Combination regimens, treatment sequencing, supportive medications, immune-modifying agents, and adverse-event management must be coordinated to preserve therapeutic benefit while minimizing harm.

A sixth implication concerns the role of clinical pharmacists. Their participation may become increasingly important in patient selection, medication reconciliation, interaction assessment, treatment adherence, pharmacovigilance, patient education, and longitudinal monitoring. The expansion of individualized oncology creates a strong rationale for integrating pharmacy expertise into multidisciplinary cancer-care teams.

A seventh implication concerns molecular diagnostics. The success of personalized vaccination depends fundamentally upon accurate tumor characterization. Diagnostic laboratories therefore become an essential component of pharmacotherapy rather than merely a supporting service.

An eighth implication concerns patient-centered oncology. Clinical benefit should ultimately be measured according to outcomes that matter to patients, including survival, recurrence prevention, quality of life, symptom burden, functional status, treatment convenience, and long-term health.

The overall results indicate that the future clinical utility of anticancer vaccines will depend on

integration rather than technological isolation. Vaccines are unlikely to replace other established therapeutic modalities universally. Instead, their greatest value may arise from strategically combining antigen-specific immune priming with treatments capable of reducing tumor burden, restoring immune function, modifying the tumor microenvironment, or preventing evolutionary escape.

The most scientifically coherent model is therefore an integrated precision-pharmacotherapy paradigm in which vaccine composition, treatment timing, combination strategy, monitoring intensity, and pharmacovigilance are individualized according to tumor and host characteristics. Within this paradigm, therapeutic efficacy should be understood as a multidimensional outcome encompassing molecular response, immunological response, radiographic disease control, survival, recurrence prevention, quality of life, and long-term safety. No single endpoint can adequately represent the therapeutic contribution of a complex immune intervention.

Similarly, treatment safety should be conceptualized as a dynamic state rather than a fixed adverse-event frequency. The clinical significance of toxicity depends upon severity, reversibility, treatment alternatives, patient vulnerability, therapeutic benefit, and long-term consequences. Benefit–risk evaluation must therefore remain continuous throughout the treatment trajectory.

The synthesis ultimately supports the proposition that anticancer vaccine science has entered a phase of convergence between immunology, molecular medicine, pharmacology, and clinical outcomes science. The future therapeutic architecture will likely be characterized by individualized antigen selection, multimodal treatment combinations, adaptive sequencing, molecular residual-disease monitoring, artificial-intelligence-supported prediction, longitudinal pharmacovigilance, and patient-centered decision-making.

The most promising direction is not simply the development of increasingly sophisticated vaccine formulations, but the construction of an integrated therapeutic ecosystem capable of matching the right antigen, platform, dose, adjuvant, treatment combination, sequence, monitoring strategy, and safety-management approach to the biological characteristics of each patient. Such a model transforms anticancer vaccination from a generalized immunological intervention into a precision pharmacotherapeutic strategy.

The comprehensive results demonstrate that the therapeutic potential of anticancer vaccines is strongly conditioned by molecular specificity, immune competence, tumor heterogeneity, microenvironmental permissiveness, treatment sequencing, combination pharmacology, and longitudinal surveillance. The transition toward personalized neoantigen-directed strategies represents a major advancement, but clinical translation requires rigorous validation of immunological biomarkers, clinically meaningful endpoints, pharmacovigilance systems, manufacturing standards, and real-world effectiveness. The integration of evidence-based medicine with molecular pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision oncology, immunosafety, and outcomes research therefore constitutes the most scientifically robust framework for advancing anticancer vaccine therapeutics.

The resulting conceptual model places the patient at the center of a continuously adaptive pharmacological system. Tumor genomics define potential therapeutic targets; computational and experimental immunology identify actionable antigens; vaccine engineering determines the delivery platform; clinical pharmacology establishes dosing and sequencing; combination therapy modifies the biological environment; molecular and immunological monitoring evaluates response; pharmacovigilance identifies emerging risks; and real-world evidence determines whether observed efficacy translates into durable population-level benefit. This integrated architecture provides a coherent foundation for future clinical development and offers a pathway toward safer, more precise, biologically informed, and patient-centered anticancer

vaccine pharmacotherapy.

The comprehensive research synthesis established that contemporary anticancer vaccine therapeutics constitute a rapidly evolving pharmacological domain in which molecular target specificity, immune-system reprogramming, tumor evolutionary dynamics, clinical pharmacotherapy, and longitudinal safety surveillance are inseparably interconnected. The principal research finding was that therapeutic vaccine performance cannot be adequately predicted by antigenicity or immunogenicity alone. Instead, clinical effectiveness emerges from a multilevel interaction among tumor genomic architecture, antigen expression, antigen processing, HLA-mediated presentation, host immune competence, tumor-microenvironment characteristics, vaccine platform, treatment sequence, concomitant pharmacotherapy, and patient-specific determinants of therapeutic response.

A first major finding was the progressive molecular transformation of anticancer vaccine development from generalized tumor-associated antigen targeting toward individualized tumor-specific antigen recognition. This transition has substantially expanded the conceptual scope of cancer vaccination. Shared tumor-associated antigens remain clinically relevant because of their reproducible expression across patient populations; however, their therapeutic specificity may be limited by expression in selected normal tissues and by heterogeneous tumor expression. In contrast, tumor-specific neoantigens generated through somatic mutations, gene fusions, abnormal transcripts, or other malignant alterations can provide highly individualized immunological targets. The research therefore identified molecular specificity as one of the principal determinants of the next generation of therapeutic vaccine development.

The investigation demonstrated that neoantigen identification should be regarded as a multistage translational process rather than a purely computational exercise. High-quality tumor sequencing, accurate variant identification, transcriptomic confirmation, HLA typing, peptide-generation prediction, expression assessment, and immunological validation are collectively necessary for reliable candidate selection. Computationally predicted binding affinity alone cannot establish clinical relevance. Consequently, the research identified a critical methodological distinction between predicted neoantigenicity, experimentally demonstrated immunogenicity, and clinically validated therapeutic activity.

The findings further indicated that antigen quality is more informative than mutation quantity. A tumor may contain a high mutational burden without generating therapeutically useful neoantigens, whereas a tumor with fewer mutations may contain highly immunogenic, clonally distributed, and biologically stable targets. Candidate-antigen prioritization should therefore incorporate clonality, transcriptional expression, HLA compatibility, processing probability, immunodominance, tumor specificity, evolutionary stability, and accessibility to immune recognition.

A particularly important research finding concerned clonal architecture. Antigens expressed across multiple malignant subclones may provide more durable therapeutic targets than antigens restricted to minor cellular populations. Vaccination directed against highly prevalent tumor clones theoretically reduces the probability of immediate immune escape through selective elimination of only antigen-positive subpopulations. However, the investigation also established that tumor clonality is dynamic and can change under therapeutic pressure. Consequently, antigen selection should increasingly be regarded as a longitudinal process rather than a one-time baseline decision.

The research identified tumor heterogeneity as a major determinant of variable therapeutic response. Genetic, epigenetic, transcriptomic, proteomic, metabolic, and spatial heterogeneity can generate substantial differences in antigen availability and immune susceptibility within the same tumor. Such heterogeneity explains why patients receiving apparently identical vaccine

interventions can demonstrate markedly different clinical outcomes. Personalized vaccination therefore requires not merely individualized antigen selection but potentially individualized assessment of intratumoral diversity.

Another major finding was the importance of antigen-processing machinery. Even when a tumor expresses a relevant antigen, defective proteasomal processing, impaired peptide transport, altered HLA expression, β2-microglobulin abnormalities, or disrupted interferon signaling can prevent effective presentation to T lymphocytes. Thus, tumor antigen expression should not be considered synonymous with immune accessibility. The research supports incorporation of antigen-processing competence into future predictive biomarker frameworks.

The investigation also demonstrated that tumor immune escape is an evolutionary process. Vaccine-induced immune pressure can selectively eliminate susceptible malignant clones while permitting antigen-loss variants or immune-resistant populations to expand. This finding supports the development of multivalent vaccination strategies and rational combination therapies designed to reduce the number of available evolutionary escape routes.

The research synthesis identified the tumor microenvironment as one of the strongest determinants of the translation of systemic immunogenicity into local tumor control. Vaccine-induced T cells may circulate at substantial levels but remain ineffective if tumor infiltration is impaired or if the local environment is strongly immunosuppressive. Regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, cancer-associated fibroblasts, abnormal vasculature, hypoxia, metabolic restriction, and inhibitory cytokine networks can collectively limit immune-mediated cytotoxicity.

Consequently, one of the principal findings was that effective vaccine pharmacotherapy requires simultaneous consideration of immune activation and immune accessibility. Increasing the magnitude of systemic immune responses may not overcome physical or metabolic barriers within the tumor. Therapeutic strategies that modify the microenvironment may therefore be necessary to convert immunogenicity into clinically meaningful tumor elimination.

The investigation further established a mechanistic rationale for combining therapeutic vaccines with immune checkpoint inhibitors. Vaccination can increase the abundance and specificity of tumor-reactive lymphocytes, whereas checkpoint blockade can enhance effector-cell functionality by reducing inhibitory signaling. The complementary nature of these mechanisms provides a rational basis for combination therapy. Nevertheless, the research emphasizes that combination therapy should be individualized because excessive immune activation may increase inflammatory toxicity without proportionately improving antitumor activity.

A related finding concerned the potential interaction between vaccination and conventional cytotoxic treatment. Chemotherapy should not be regarded exclusively as immunosuppressive. Depending upon the agent, dose, schedule, and disease context, cytotoxic therapy may induce immunogenic cell death, increase tumor-antigen availability, modify suppressive immune populations, or reduce tumor burden. The therapeutic consequence therefore depends upon the precise pharmacological context. This supports treatment sequencing based on immunological pharmacodynamics rather than empirical co-administration.

Radiotherapy demonstrated a similarly complex relationship with vaccine-mediated immunity. Local tumor irradiation can enhance antigen release and inflammatory signaling, potentially improving systemic immune recognition. However, radiation can also produce tissue inflammation and treatment-related toxicity. The research therefore identified radiation dose, fractionation, anatomical localization, and temporal sequencing as variables requiring integration into vaccine-treatment design.

Targeted molecular therapies were also identified as potentially important immunological partners. Inhibition of oncogenic pathways can influence antigen expression, interferon

responsiveness, tumor-cell survival, metabolic activity, and immune-cell interactions. Such effects create opportunities for mechanistically designed combinations in which targeted therapy modifies the tumor state while vaccination generates antigen-specific immunity.

A major research finding was therefore the emergence of treatment sequencing as a pharmacological variable in its own right. The timing of vaccination relative to chemotherapy, radiotherapy, checkpoint inhibition, targeted therapy, or cellular immunotherapy can affect antigen availability, lymphocyte function, immune priming, and toxicity. Future clinical protocols should consequently specify not only which therapies are combined but when they are administered.

Disease burden emerged as another major determinant. The research synthesis supports the hypothesis that vaccination may be particularly advantageous when tumor burden is low. Minimal residual disease and adjuvant settings may offer a more favorable immunological environment than advanced, bulky, heterogeneous malignancy. This observation has substantial implications for trial design because vaccines may demonstrate their greatest clinical value through recurrence prevention rather than rapid tumor shrinkage.

The investigation consequently identified recurrence-free survival and disease-free survival as potentially critical endpoints for therapeutic vaccine research. Conventional response criteria focused on measurable tumor reduction may underestimate the value of interventions that prevent recurrence without producing dramatic early radiographic changes. Longitudinal assessment is therefore essential.

Molecular residual disease monitoring emerged as a potentially important bridge between biological activity and clinical outcomes. Circulating tumor DNA and other molecular biomarkers may detect persistent malignant disease before radiographic progression becomes apparent. The research suggests that integrating molecular residual disease assessment with vaccine-induced immune signatures could enable earlier identification of therapeutic response, incomplete eradication, or emerging resistance.

The findings further established that anticancer vaccine pharmacodynamics differ substantially from conventional small-molecule pharmacology. The relevant biological response is not simply proportional to circulating drug concentration. Instead, vaccination initiates a cascade involving antigen uptake, processing, presentation, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector function, and memory formation. Consequently, pharmacodynamic assessment should incorporate biological and temporal dimensions extending well beyond immediate exposure.

The research identified immune memory as a central determinant of long-term therapeutic potential. Durable populations of antigen-specific memory T cells and B cells may provide continued surveillance after the initial treatment period. Nevertheless, the existence of immunological memory does not guarantee durable tumor control because tumors may evolve, lose target antigens, or establish new immune-evasive mechanisms. Long-term vaccine efficacy therefore depends on interaction between immune memory and tumor evolutionary stability.

The investigation also found that repeated vaccination must be optimized carefully. Booster administration may strengthen antigen-specific immunity but could also contribute to immune exhaustion, diminishing returns, or selective pressure for antigen-negative clones. The optimal frequency and duration of vaccination should therefore be determined by longitudinal pharmacodynamic monitoring rather than fixed schedules alone.

The research highlighted significant differences among vaccine platforms. Peptide vaccines offer molecular precision and relatively straightforward design but depend on appropriate antigen processing and HLA presentation. Protein-based vaccines provide broader antigenic material but require efficient uptake and processing. DNA and mRNA platforms enable intracellular antigen

production and potentially rapid redesign. Viral vectors can induce strong innate and adaptive responses but may be influenced by vector-specific immunity. Dendritic-cell vaccines provide sophisticated control of antigen presentation but involve complex individualized manufacturing. Whole-cell and tumor-lysate approaches offer broad antigenic diversity and may theoretically reduce the risk of single-antigen escape, but they provide less precise control over antigen composition. The research therefore concluded that platform selection should be based on disease biology, antigen characteristics, manufacturing capacity, immune requirements, and clinical context rather than assuming universal superiority of one technology.

The analysis of nucleic-acid platforms revealed the increasing importance of formulation and delivery science. Messenger-RNA and DNA-based vaccines are affected by cellular uptake, intracellular trafficking, expression kinetics, innate immune sensing, degradation, and tissue distribution. Nanoparticle technologies may modify these characteristics and enhance delivery, but additional pharmacological and regulatory complexity is introduced. The research therefore identified delivery technology as a substantive component of therapeutic efficacy rather than a secondary formulation consideration.

Adjuvant pharmacology also emerged as a critical research domain. Adjuvants can amplify innate immune activation and improve antigen presentation, but excessive stimulation can increase inflammatory toxicity. The optimal adjuvant should therefore produce sufficient immunological activation while maintaining a favorable therapeutic window. This balance becomes particularly important when vaccines are combined with checkpoint inhibitors or other immune-modulating treatments.

Route of administration was identified as another determinant of therapeutic response. Different routes influence antigen distribution, lymphatic exposure, local inflammation, systemic availability, and interaction with antigen-presenting cells. The research therefore supports route optimization according to vaccine platform and desired biological effect rather than adopting a standardized route across technologies.

The investigation found that host factors significantly contribute to treatment heterogeneity. Age, immune competence, prior treatment, concomitant immunosuppressive medication, nutritional status, comorbidity burden, HLA genotype, microbiome characteristics, and baseline immune-cell composition can influence response. Personalized vaccine development must therefore integrate host characteristics with tumor-specific molecular information.

HLA diversity was identified as a particularly important consideration. Because antigen presentation is HLA-dependent, population-level differences in HLA distribution can influence the applicability of specific peptide targets. This finding underscores the importance of ethnically and geographically diverse datasets in vaccine development and raises significant questions regarding equitable access to personalized oncology.

The research further identified pharmacogenomic integration as an emerging opportunity. Host genetic variation may influence immune responsiveness, inflammatory toxicity, drug metabolism, and treatment tolerance. Although predictive associations require further validation, the combination of tumor genomics and host genomics may eventually enable more comprehensive therapeutic personalization.

The tumor metabolic environment emerged as an additional determinant of immune effectiveness. Hypoxia, lactate accumulation, glucose restriction, altered lipid metabolism, extracellular adenosine, and nutrient competition can compromise lymphocyte function. The research therefore supports exploration of metabolic interventions that improve immune-cell persistence and functionality within malignant tissues.

Myeloid-cell biology was identified as a particularly important target. Tumor-associated macrophages and myeloid-derived suppressor cells can suppress adaptive immunity and support

malignant progression. Selective modulation of these populations may enhance vaccine efficacy. However, indiscriminate depletion could interfere with normal host defense and tissue repair, reinforcing the need for precise pharmacological targeting.

Regulatory T-cell activity similarly represents a therapeutic challenge. Their physiological role in maintaining immune tolerance means that complete suppression may increase autoimmune risk. The research therefore supports selective modulation rather than generalized immune disinhibition.

Another major finding was the distinction between immunogenicity and clinical efficacy. Increased antigen-specific T-cell frequency, cytokine release, antibody production, or immune-cell infiltration may demonstrate biological activity but does not automatically translate into improved progression-free or overall survival. Clinical development should therefore prioritize validated relationships between biomarkers and meaningful patient outcomes.

The research identified several complementary outcome domains: objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, recurrence-free survival, duration of response, molecular residual disease, symptom burden, quality of life, and patient-reported outcomes. A multidimensional outcome framework is particularly important because anticancer vaccines may generate delayed or durable effects that are not adequately represented by early radiographic endpoints.

The investigation also emphasized the importance of treatment tolerability. A biologically active therapy may have limited clinical utility if toxicity substantially compromises quality of life or prevents continuation. Therefore, therapeutic effectiveness should be evaluated as a function of both benefit magnitude and treatment burden.

The safety findings indicate that anticancer vaccine pharmacovigilance requires specialized monitoring. Vaccine-associated inflammation, immune-mediated adverse events, autoimmune manifestations, systemic inflammatory responses, and combination-related toxicities may differ from conventional cytotoxic adverse-event patterns. Monitoring systems must therefore capture both acute and delayed events.

Causality assessment is particularly challenging in combination therapy. When patients receive vaccines alongside checkpoint inhibitors, chemotherapy, radiotherapy, targeted agents, corticosteroids, antimicrobial therapy, and supportive medications, attribution of adverse events becomes complex. The research identified temporal relationships, alternative etiologies, biological plausibility, concomitant exposure, laboratory evidence, dechallenge information, and known toxicity profiles as essential components of causal assessment.

Longitudinal pharmacovigilance emerged as a major requirement. Durable immune activation creates the possibility of delayed adverse events occurring after initial treatment completion. Extended surveillance should therefore be incorporated into clinical development and post-authorization safety monitoring.

The research also identified clinical pharmacists as important contributors to vaccine safety. Their responsibilities can include medication reconciliation, identification of immunosuppressive therapies, interaction assessment, adverse-event monitoring, patient education, adherence support, supportive-care optimization, and pharmacovigilance reporting. The increasing complexity of personalized oncology strengthens the rationale for embedding clinical pharmacy services within multidisciplinary treatment teams.

Drug–vaccine interactions require particular consideration. Corticosteroids and other immunosuppressive agents may theoretically modify vaccine-induced immune responses, whereas supportive medications can influence toxicity management and treatment continuity. The significance of these interactions is highly dependent upon dose and timing, making individualized medication assessment essential.

The investigation further established the importance of real-world evidence. Controlled trials provide high internal validity but may underrepresent elderly patients, individuals with multiple comorbidities, patients receiving complex polypharmacy, and populations with limited access to specialized oncology services. Real-world data can therefore provide complementary evidence concerning long-term effectiveness, rare toxicities, treatment persistence, and health-system feasibility.

However, the research also identified substantial methodological challenges in real-world evidence. Confounding by indication, selection bias, missing information, exposure misclassification, immortal-time bias, and differences in institutional practice can generate misleading associations. Causal-inference methods and careful study design are therefore essential.

The investigation identified artificial intelligence as a potentially transformative component of vaccine research. AI can facilitate neoantigen prioritization, integrate multimodal molecular data, identify response signatures, predict toxicity, analyze imaging, and support pharmacovigilance signal detection. Nevertheless, algorithmic predictions require external validation and clinical oversight because model performance may decline across populations, disease types, sequencing technologies, and healthcare environments.

The research emphasized that computational precision does not automatically equate to clinical precision. An algorithm may accurately predict molecular features without improving treatment outcomes. Therefore, AI-based biomarkers should ultimately be evaluated according to their ability to change clinical decisions and improve patient outcomes.

Single-cell and spatial technologies were identified as particularly valuable for understanding treatment heterogeneity. Bulk tumor analysis may obscure rare but clinically important immune or malignant populations. Single-cell approaches can characterize functional states, while spatial technologies can determine whether immune cells physically interact with tumor populations. Such information may explain apparent discordance between systemic immune activation and local therapeutic failure.

The research further highlighted the potential importance of tertiary lymphoid structures and intratumoral immune organization. The presence of organized immune niches may facilitate local antigen presentation and lymphocyte activation. Future studies should therefore examine not only the quantity but also the spatial organization of immune components.

T-cell receptor sequencing was identified as a useful pharmacodynamic tool. Expansion and persistence of antigen-specific clonotypes can provide evidence of vaccine-induced immune selection. However, clonotype expansion must be interpreted together with functional assays because numerical expansion does not necessarily establish effective tumor recognition.

B-cell and antibody responses were also identified as potentially underexplored dimensions of vaccine pharmacology. Although T-cell-mediated cytotoxicity remains central, antibodies may contribute to antigen recognition, immune-cell recruitment, complement activation, and antigen presentation. Comprehensive immune monitoring should therefore evaluate both cellular and humoral responses when biologically appropriate.

The research synthesis also identified disease stage as a major determinant of therapeutic strategy. Preventive vaccination, adjuvant vaccination, maintenance vaccination, treatment of minimal residual disease, and treatment of advanced metastatic disease represent distinct clinical contexts with different biological requirements and endpoints. A platform successful in one context may not perform similarly in another.

The adjuvant setting appears particularly promising because residual disease may be limited and tumor heterogeneity may be lower than in advanced disease. In such circumstances, vaccine-induced immune surveillance may be sufficient to eliminate microscopic malignant populations.

The clinical relevance of this strategy should be evaluated through long-term recurrence and survival outcomes.

The investigation also identified the potential of vaccines for maintenance therapy. Following successful cytoreduction, vaccination could theoretically sustain immune surveillance and delay progression. Maintenance strategies may provide a favorable balance between treatment intensity and long-term disease control, although the optimal duration remains uncertain.

The concept of adaptive vaccination emerged as one of the most significant future findings. Tumor evolution may necessitate modification of vaccine antigen composition over time. Serial molecular monitoring could identify emerging targetable antigens and permit treatment adaptation. Such a model would transform therapeutic vaccination into a dynamic rather than static intervention.

Manufacturing speed was identified as a critical prerequisite for adaptive strategies. Personalized vaccine production must occur within clinically meaningful timeframes. Automation, modular manufacturing, standardized sequencing pipelines, and validated computational platforms may reduce turnaround times. However, rapid production must remain compatible with rigorous quality assurance.

Regulatory science will therefore become increasingly important. Personalized products challenge traditional definitions of a pharmaceutical product because each formulation may differ while sharing a common manufacturing platform. Regulatory frameworks must balance individualization with consistency, traceability, quality, and patient safety.

The research also identified manufacturing scalability as a major translational challenge. Individualized products may require substantial resources per patient. The long-term feasibility of personalized vaccination will depend on automation, process standardization, cost reduction, and efficient molecular diagnostics.

Health-economic findings suggest that cost-effectiveness should be evaluated over extended time horizons. Upfront vaccine and sequencing costs may be substantial, but successful recurrence prevention or prolonged survival could reduce downstream healthcare utilization. Comprehensive economic modeling should therefore incorporate treatment avoidance, hospitalization, supportive care, productivity, and quality-adjusted survival.

Equity was identified as an important research consideration. Advanced molecular diagnostics and individualized manufacturing may initially be concentrated in high-resource environments. Without deliberate policy interventions, technological advances could increase disparities in cancer treatment. Global implementation strategies should therefore consider infrastructure development, regional manufacturing, workforce training, and equitable financing.

The research further demonstrated that patient-centered outcomes must remain central to therapeutic evaluation. Survival benefit is essential, but treatment burden, functional status, symptoms, quality of life, and patient preferences influence the practical value of treatment. Personalized vaccination should therefore be evaluated not only as a molecularly precise intervention but also as a patient-centered therapeutic strategy.

Patient participation in pharmacovigilance may improve safety detection. Individuals can report symptoms that are not immediately recognized during routine clinical encounters. Digital platforms may facilitate real-time reporting, although clinical validation and data-quality mechanisms are required to distinguish genuine safety signals from nonspecific symptoms.

The research also identified the importance of patient education. Patients receiving individualized vaccines may have complex expectations regarding efficacy. Clear communication about the investigational nature of many platforms, delayed response patterns, possible adverse effects, monitoring requirements, and alternative therapies is essential for informed decision-making.

Interdisciplinary collaboration emerged as a recurring determinant of successful translation. Molecular scientists, immunologists, pharmacologists, oncologists, pharmacists, bioinformaticians, statisticians, pathologists, radiologists, regulatory specialists, and health economists each contribute essential expertise. The complexity of therapeutic vaccination makes isolated disciplinary approaches increasingly inadequate.

A major synthesized finding was therefore the emergence of an integrated precision-vaccine ecosystem. Within this ecosystem, tumor molecular characterization determines candidate targets; computational and experimental methods prioritize antigens; vaccine engineering determines formulation; clinical pharmacology establishes dose and sequence; combination therapy modifies the biological environment; biomarkers monitor pharmacodynamic response; pharmacovigilance identifies safety signals; and real-world evidence evaluates effectiveness.

The research further indicates that future clinical trials should incorporate translational endpoints from the outset. Genomic, transcriptomic, immune, pharmacodynamic, imaging, molecular residual-disease, safety, and patient-reported outcomes should be integrated rather than collected as disconnected variables. Such trial architectures can establish mechanistic relationships between treatment exposure and clinical outcome.

Adaptive platform trials may offer particular advantages. Shared infrastructure can permit simultaneous evaluation of multiple vaccine platforms, antigen-selection strategies, and treatment combinations. This may accelerate development while reducing duplication and improving comparability.

The investigation also supports greater standardization of vaccine research reporting. Studies should describe antigen-selection criteria, tumor sequencing methodology, HLA characterization, vaccine composition, adjuvant, administration route, treatment sequence, immune-monitoring strategy, safety definitions, and clinical endpoints in sufficient detail to permit reproducibility.

Negative findings should likewise be systematically reported. Publication bias toward successful vaccine strategies can distort the evidence base. Transparent reporting of failed antigen targets, unsuccessful combinations, manufacturing limitations, and adverse-event patterns is necessary for scientifically balanced evidence synthesis.

The research identified an additional need for long-term follow-up. Because vaccine-induced immunity may persist for extended periods, both therapeutic benefit and toxicity can emerge beyond conventional trial windows. Long-term registries should therefore become an important component of therapeutic vaccine research.

The research findings support a transition from generalized cancer immunization toward individualized, adaptive, biomarker-informed pharmacotherapy. The therapeutic objective is no longer simply to induce an immune response but to generate a durable, tumor-specific, clinically meaningful immune state capable of controlling malignant evolution while minimizing systemic harm.

The central translational finding is that the optimal anticancer vaccine is unlikely to be defined solely by its molecular composition. Therapeutic performance depends on the interaction between antigen selection, delivery technology, host biology, tumor architecture, immune microenvironment, treatment sequencing, and monitoring. Thus, optimization requires simultaneous attention to molecular precision and clinical context.

The evidence also supports a shift from static efficacy assessment toward continuous therapeutic learning. Each patient's molecular and clinical trajectory can provide information that informs subsequent treatment decisions. Such adaptive learning systems could progressively refine antigen selection, treatment combinations, monitoring schedules, and toxicity management.

The research implication is that anticancer vaccines should be incorporated into an integrated model of precision pharmacotherapy rather than evaluated as isolated biological products. The future therapeutic framework should unite molecular oncology, immunopharmacology, clinical pharmacology, pharmacovigilance, pharmacoepidemiology, artificial intelligence, real-world evidence, and patient-centered outcomes research.

The findings can therefore be synthesized into several interconnected propositions: molecularly individualized antigen selection increases biological specificity; antigen quality and clonality are more informative than mutation quantity alone; tumor heterogeneity and immune escape require multivalent and adaptive strategies; tumor-microenvironment modulation is essential for converting immunogenicity into therapeutic efficacy; combination treatment should be mechanistically and temporally optimized; molecular residual-disease monitoring may enable earlier assessment of therapeutic success; pharmacovigilance must encompass delayed and combination-related toxicities; real-world evidence is essential for assessing effectiveness and equity; and patient-centered outcomes must remain the ultimate measure of clinical value.

The findings establish that the future of anticancer vaccine therapeutics lies in the convergence of precision molecular targeting, adaptive immunopharmacology, rational combination treatment, longitudinal molecular surveillance, sophisticated safety science, and individualized clinical decision-making. The research therefore supports a comprehensive therapeutic paradigm in which anticancer vaccines function not as isolated interventions but as dynamic components of an integrated, evidence-based, precision oncology system designed to maximize durable tumor control, minimize treatment-related harm, and improve clinically meaningful patient outcomes.

ANALYSIS

The integrated analysis of contemporary anticancer vaccine science demonstrates that the therapeutic trajectory of cancer vaccination is undergoing a fundamental transition from generalized immune stimulation toward molecularly individualized, biomarker-informed, pharmacologically coordinated, and longitudinally adaptive intervention. This transformation is not merely technological. It represents a reconfiguration of the conceptual relationship between immunology and pharmacotherapy, in which the therapeutic objective extends beyond generating an immune response toward establishing a durable and clinically consequential state of tumor-specific immune surveillance. The analytical significance of this transition lies in recognizing that anticancer vaccine efficacy is emergent rather than intrinsic: it arises from the interaction between the vaccine, malignant tissue, immune system, treatment environment, and temporal evolution of disease.

The first analytical conclusion concerns the inadequacy of evaluating anticancer vaccines according to conventional pharmaceutical paradigms alone. Small-molecule and biologic therapeutics are traditionally evaluated through relationships among dose, exposure, pharmacokinetics, pharmacodynamics, receptor engagement, and clinical response. Anticancer vaccines possess a fundamentally different pharmacological architecture. The administered intervention initiates a biological cascade involving antigen uptake, processing, presentation, innate immune activation, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector function, memory formation, and potential tumor evolution. Accordingly, the clinically relevant pharmacodynamic variable is not simply concentration but the magnitude, quality, specificity, persistence, and functional competence of the induced immune response.

This distinction has important consequences for dose optimization. Conventional maximum-tolerated-dose strategies may be insufficient for determining optimal vaccine exposure because

the highest immunologically active dose is not necessarily the dose producing the greatest clinical benefit. Immune activation can exhibit nonlinear relationships with antigen concentration and adjuvant intensity. Excessive stimulation may increase systemic inflammation, induce undesirable immune activation, or alter immune-cell differentiation without proportionately improving antitumor activity. Vaccine development should therefore incorporate pharmacodynamic endpoints that characterize immune functionality rather than relying primarily upon toxicity-limited escalation.

The analysis further indicates that the concept of therapeutic window must be reinterpreted within immunopharmacology. For conventional medicines, the therapeutic window often represents the range between effective and toxic systemic concentrations. For anticancer vaccines, the relevant therapeutic window may instead represent the balance between sufficiently intense tumor-directed immunity and excessive systemic or autoreactive inflammation. This requires integration of immunogenicity, antitumor activity, inflammatory biomarkers, organ-specific toxicity, patient susceptibility, and long-term clinical benefit.

The second major analytical conclusion concerns antigen selection. The evolution toward neoantigen-based vaccination is scientifically significant because it addresses one of the central limitations of conventional cancer vaccines: insufficient discrimination between malignant and normal tissues. Tumor-specific neoantigens theoretically provide high specificity because they arise from malignant genomic alterations that are absent from most normal cells. Nevertheless, the therapeutic value of a neoantigen is contingent upon several sequential biological conditions. It must be generated by a tumor-specific alteration, expressed at meaningful levels, processed intracellularly, presented by a compatible HLA molecule, recognized by an appropriate T-cell receptor repertoire, and expressed sufficiently across clinically relevant tumor populations.

This sequence demonstrates why computational prediction cannot serve as the sole determinant of individualized vaccine composition. Bioinformatic prediction may estimate HLA-binding affinity or peptide stability, but these parameters are only proxies for actual immunogenicity. The analytical framework therefore supports a hierarchical validation process beginning with genomic identification and proceeding through transcriptomic confirmation, HLA compatibility, immunopeptidomic evidence where available, functional immune assays, and ultimately clinical validation.

The importance of antigen quality over antigen quantity represents another fundamental analytical finding. A high tumor mutational burden can generate numerous candidate neoantigens, but only a subset will possess the biological characteristics required for therapeutic recognition. Conversely, a tumor with fewer mutations may contain a small number of highly expressed, clonal, evolutionarily stable neoantigens. Consequently, future vaccine-development algorithms should prioritize antigenic fitness rather than simply maximizing the number of epitopes incorporated into a formulation.

Clonality becomes particularly important in this context. A vaccine targeting an antigen present in the majority of malignant cells has a greater theoretical capacity for comprehensive tumor control than one directed against a minor subclone. However, the analysis also demonstrates that clonality is dynamic. Treatment-induced immune pressure can alter the relative abundance of tumor populations. Thus, antigen selection must be understood within an evolutionary framework rather than as a static molecular characterization performed once before therapy.

The concept of immunoediting provides a powerful analytical model for understanding this phenomenon. Anticancer vaccines can alter the selective environment in which tumor populations compete. Sensitive clones may be eliminated, while antigen-loss or immune-resistant clones may expand. This process can create acquired resistance even when the initial vaccine-induced immune response is robust. Therefore, therapeutic success cannot be defined solely by

the intensity of the initial immune response; it must also encompass the stability of the target under evolutionary pressure.

This observation supports multivalent vaccination strategies, but the analysis cautions against assuming that more antigens automatically produce better outcomes. Increasing antigen breadth may reduce the probability of single-antigen escape, yet it may also introduce immunodominance, competition for immune resources, manufacturing complexity, and variability in antigen presentation. The optimal antigenic architecture therefore represents a balance between breadth, specificity, clonality, expression, and immunological accessibility.

The third analytical dimension concerns tumor heterogeneity. Malignant tumors are evolving ecosystems characterized by genetic and phenotypic diversity. The same patient may possess spatially separated tumor regions with different mutational profiles, antigen-expression patterns, immune-cell composition, and metabolic characteristics. Consequently, a vaccine that is theoretically personalized at the patient level may still be insufficiently personalized at the intratumoral level.

This observation suggests that future precision vaccination may require spatial and longitudinal characterization. Single-cell sequencing, spatial transcriptomics, multiplex imaging, circulating tumor DNA, and serial biopsy may provide complementary information concerning tumor evolution and immune organization. The analytical challenge is to identify which information is clinically actionable. Precision should not become synonymous with indiscriminate accumulation of molecular data. Rather, each biomarker should demonstrate incremental value in treatment selection or monitoring.

Tumor-microenvironment analysis reinforces this principle. Vaccine-induced T cells may be generated successfully but fail to eliminate tumor cells because they cannot enter the tumor, cannot remain functionally active, or encounter profound metabolic and immunological suppression. Consequently, the vaccine should be conceptualized as one component of a broader tumor–immune ecosystem.

The analytical implications are substantial. If the principal limitation is inadequate immune priming, increasing vaccine potency may be appropriate. If the limitation is immune exclusion, modifying the tumor microenvironment may be more important. If the dominant barrier is T-cell exhaustion, checkpoint modulation may be required. If antigen presentation is defective, strategies restoring HLA or interferon signaling may be more appropriate. Thus, the optimal therapeutic intervention depends upon the specific biological bottleneck.

This supports a bottleneck-oriented model of precision pharmacotherapy. Rather than asking whether a patient should receive a vaccine in general, clinicians should determine which component of the vaccine-response pathway is limiting therapeutic efficacy. Such a model could improve rational treatment selection and reduce unnecessary combination therapy.

The fourth analytical domain concerns treatment combinations. The evidence strongly supports the principle that anticancer vaccines are unlikely to function optimally as universally standalone therapies in advanced disease. Their pharmacological value may increase when combined with interventions that modify complementary components of the tumor–immune system.

Checkpoint inhibition represents the most obvious example. Vaccination can expand or diversify tumor-reactive lymphocytes, whereas checkpoint blockade can improve functional activity in susceptible T-cell populations. The combination therefore addresses two sequential components of the immune response: generation and release of effector activity. However, the analysis indicates that the combination is not inherently beneficial in every patient. If the tumor lacks antigen presentation or contains profound immune exclusion, checkpoint blockade may have limited efficacy despite vaccine-induced immunity.

This suggests that combination therapy should be biomarker-directed. Patients with evidence of vaccine-induced immune infiltration but persistent inhibitory signaling may be particularly suitable for checkpoint modulation. Conversely, patients with profound antigen-processing defects may require alternative interventions. This is a more sophisticated model than universal co-administration.

Chemotherapy presents an equally complex relationship. The analysis rejects a binary classification of chemotherapy as either immunosuppressive or immunostimulatory. Pharmacological effects depend upon agent, dose, schedule, tumor context, and immune status. Selected agents can induce immunogenic cell death or reduce suppressive immune populations, whereas excessive exposure can cause profound lymphodepletion. The therapeutic objective should therefore be to exploit immunomodulatory effects while minimizing disruption of vaccine-induced immunity.

This reinforces the importance of treatment sequencing. A cytotoxic agent administered before vaccination may reduce tumor burden and release antigens, potentially improving vaccine effectiveness. The same agent administered during critical immune-priming phases may suppress proliferating lymphocytes and reduce response. Consequently, treatment timing should be treated as an experimentally testable pharmacological variable.

Radiotherapy similarly demonstrates that local treatment can have systemic immunological consequences. Radiation may generate antigen release and inflammatory signals, potentially converting an immunologically “cold” lesion into a more permissive environment. However, the extent of these effects depends upon anatomical location, fractionation, dose, and timing. The analytical implication is that radiotherapy–vaccine combinations should be mechanistically designed rather than empirically assembled.

Targeted therapy adds another layer of complexity. Molecular inhibition can alter tumor-cell phenotype, antigen expression, interferon responsiveness, and metabolic state. Therefore, targeted drugs may function not only as direct anticancer agents but also as immune-environment modifiers. Future clinical pharmacology should characterize these indirect effects systematically.

The fifth analytical domain concerns disease stage. The biological conditions present in microscopic residual disease differ fundamentally from those in advanced metastatic cancer. In minimal-residual-disease settings, the number of malignant cells may be smaller, clonal diversity may be reduced, and the immunosuppressive architecture may be less established. This creates a theoretically favorable context for vaccine-mediated immune surveillance.

Therefore, the analysis supports a strategic shift toward investigating therapeutic vaccines earlier in the disease course. Adjuvant and maintenance settings may ultimately demonstrate greater benefit than heavily pretreated refractory disease, even if early vaccine research has focused predominantly on advanced malignancy.

This does not imply that vaccines are unsuitable for advanced disease. Rather, advanced disease may require more sophisticated combination approaches capable of simultaneously addressing tumor burden, immune suppression, antigen heterogeneity, and resistance. The treatment objective may also differ: prevention of recurrence in early-stage disease versus disease control and survival extension in advanced disease.

The sixth analytical domain involves response assessment. Conventional radiographic criteria may be insufficient for therapies whose effects depend upon immune activation and may evolve over prolonged periods. Apparent lesion enlargement can reflect inflammatory infiltration, although true progression remains possible. Consequently, clinical interpretation should integrate serial imaging, biomarkers, symptoms, immune measurements, and molecular data.

The analysis suggests that molecular residual disease could become an important intermediate endpoint. If validated, changes in circulating tumor DNA may provide earlier information

concerning treatment effectiveness than conventional imaging. The integration of molecular and immunological monitoring could create a multidimensional response matrix distinguishing effective immune activation, molecular tumor clearance, persistent disease, and immune-mediated inflammatory changes.

Such a framework could reduce premature discontinuation of potentially effective therapy while also preventing prolonged exposure to ineffective treatment. However, biomarker-guided treatment adaptation requires rigorous prospective validation. A molecular signal should not be used to change therapy solely because it is biologically interesting; it must demonstrate predictive or prognostic utility that improves clinical decisions.

The seventh analytical domain concerns pharmacovigilance. Anticancer vaccine safety cannot be evaluated adequately through short-term adverse-event reporting alone. Immune-mediated toxicity may be delayed, may persist after treatment, or may arise through interaction with other immune-active therapies. Longitudinal safety surveillance is therefore indispensable.

Causality assessment becomes particularly complex in combination regimens. When a patient receives vaccination, checkpoint blockade, chemotherapy, targeted therapy, corticosteroids, antimicrobial treatment, and supportive medications, the occurrence of an inflammatory event cannot automatically be attributed to one component. Pharmacovigilance systems should integrate temporal relationships, biological mechanisms, alternative diagnoses, exposure patterns, laboratory findings, and treatment modifications.

The analysis also highlights the value of active surveillance. Spontaneous reporting systems are valuable for signal detection but may suffer from underreporting, reporting bias, variable clinical detail, and denominator uncertainty. Electronic health records, registries, patient-reported outcomes, laboratory databases, and longitudinal observational cohorts can provide complementary information.

The eighth analytical dimension concerns the clinical pharmacist. The complexity of vaccine-containing oncology regimens creates a strong rationale for expanded clinical pharmacy involvement. Pharmacists can evaluate concomitant medications, identify potential immunological interactions, monitor adverse events, support adherence, optimize supportive treatment, and participate in pharmacovigilance.

Medication reconciliation becomes particularly important because patients with cancer frequently receive multiple therapies simultaneously. Corticosteroids, anticoagulants, antimicrobials, analgesics, antiemetics, endocrine therapies, targeted agents, and other medications can influence treatment safety and clinical interpretation. Comprehensive medication management can therefore reduce preventable harm.

The analysis also identifies a need for specialized pharmacy competencies in molecular oncology. Future oncology pharmacists may require knowledge of neoantigen selection, individualized vaccine manufacturing, biomarker interpretation, immune-related toxicity, pharmacogenomics, and real-world evidence. This represents a significant expansion of traditional clinical pharmacy practice.

The ninth analytical dimension concerns host factors. Personalized vaccine development is incomplete if personalization focuses solely on the tumor. The immune system belongs to the host, and its capacity to respond is shaped by age, genetics, previous therapies, comorbidities, nutritional state, microbiome, and baseline immune composition.

HLA genotype is particularly relevant because antigen presentation is HLA-dependent. Population-level differences in HLA alleles can influence which peptides are presented effectively. This has implications for global implementation and health equity. Vaccine-development datasets that disproportionately represent particular populations may produce algorithms with reduced predictive performance in underrepresented groups.

Host genetic analysis may eventually extend beyond HLA. Germline immune-related variants could influence inflammatory responses, susceptibility to toxicity, or therapeutic effectiveness. However, the analytical framework emphasizes that such biomarkers require robust validation before clinical implementation.

Age-related immune changes also require attention. Immunosenescence can alter T-cell repertoire diversity, antigen presentation, and vaccine responsiveness. Older patients may simultaneously possess greater comorbidity and polypharmacy burden. Clinical trial designs should therefore incorporate representative older populations and geriatric endpoints.

The tenth analytical dimension concerns artificial intelligence. Computational methods have become central to neoantigen prediction and personalized vaccine design. AI can integrate high-dimensional datasets that exceed conventional analytical capacity. Nevertheless, the analysis emphasizes that algorithmic sophistication does not eliminate biological uncertainty.

Prediction models may fail when applied to populations different from their training datasets. They may also reproduce biases embedded in genomic databases. External validation, prospective evaluation, calibration, interpretability, and clinical-impact analysis are therefore essential.

AI can also support pharmacovigilance by detecting patterns within large clinical datasets. Automated natural-language processing may identify adverse-event signals from medical records, while machine-learning algorithms can identify combinations associated with increased toxicity. However, automated signals require expert review because statistical association does not establish causality.

The eleventh analytical domain concerns manufacturing and regulatory science. Individualized vaccines challenge conventional pharmaceutical production because the therapeutic product may be patient-specific. The manufacturing process must therefore be highly controlled even when the final sequence differs among patients.

The analysis suggests that platform-based regulation may become increasingly important. Regulatory evaluation may need to focus not only on the final product but also on the validated process by which individualized products are generated. Standardized quality-control parameters, computational pipelines, manufacturing specifications, and release criteria could enable scalable individualized production.

Turnaround time represents another critical constraint. A vaccine produced after substantial disease progression may no longer target the dominant tumor population. Rapid sequencing, antigen selection, manufacturing, quality assurance, and administration are therefore essential for clinical relevance.

This creates a tension between personalization and speed. Increasing customization can increase production complexity, while clinical urgency favors rapid intervention. The optimal future architecture may involve modular platforms that preserve personalization while standardizing most manufacturing components.

The twelfth analytical domain concerns health economics. Personalized vaccine therapy can require sequencing, bioinformatics, individualized manufacturing, specialized administration, and intensive monitoring. Initial treatment costs may therefore be substantial. However, economic evaluation must incorporate potential reductions in recurrence, subsequent systemic treatment, hospitalization, and long-term disease burden.

Cost-effectiveness is consequently highly dependent upon clinical context. A therapy that prevents recurrence in high-risk disease may have a very different economic profile from one producing modest benefit in late-stage disease. Economic models should therefore be disease-stage specific.

The analysis also identifies infrastructure as an economic variable. A vaccine may be biologically effective but impractical in healthcare systems lacking molecular diagnostics or specialized manufacturing. Real-world implementation requires assessment of laboratory capacity, workforce, data systems, regulatory oversight, and reimbursement.

The thirteenth analytical domain concerns patient-centered outcomes. Precision medicine should not be reduced to molecular sophistication. A treatment is clinically valuable only when it improves outcomes meaningful to patients. Survival, recurrence prevention, symptom control, functional status, quality of life, treatment burden, and patient preferences should therefore be incorporated into therapeutic assessment.

Patient-reported outcomes are especially important because immune therapies may produce chronic or delayed symptoms that are not fully captured by clinician-reported toxicity scales. Digital patient-reported outcome systems could provide continuous monitoring and facilitate early intervention.

The analysis further emphasizes the importance of communication. Personalized vaccine therapy may generate high expectations because of its individualized nature. Patients should understand that molecular customization does not guarantee clinical success. Shared decision-making should explicitly address uncertainty, expected benefits, potential harms, treatment duration, alternatives, and logistical requirements.

The fourteenth analytical domain concerns evidence quality. The existing evidence base is heterogeneous, comprising early-phase trials, randomized studies, observational cohorts, translational investigations, systematic reviews, and real-world datasets. These evidence types answer different questions and should not be treated as interchangeable.

Early-phase studies provide information concerning feasibility, immunogenicity, safety, and preliminary activity. Randomized trials provide stronger evidence concerning comparative efficacy. Real-world studies contribute information concerning effectiveness and safety in broader populations. Translational studies explain mechanisms. A mature evidence architecture requires integration across these levels.

The analysis identifies substantial heterogeneity among vaccine studies. Cancer type, stage, antigen target, platform, adjuvant, combination therapy, dosing schedule, biomarker strategy, and endpoint definitions vary substantially. Consequently, simple cross-trial comparisons may be misleading.

Meta-analytic synthesis should therefore be conducted only when biological and methodological comparability is adequate. Where heterogeneity is substantial, structured narrative synthesis or hierarchical modeling may provide more scientifically appropriate conclusions.

Surrogate endpoints require similar caution. Immunogenicity is necessary for therapeutic vaccine activity but may not be sufficient for clinical benefit. A surrogate should only be considered reliable when changes in the surrogate consistently predict meaningful patient outcomes across relevant interventions and populations.

The fifteenth analytical domain concerns causal inference. Observational studies of personalized vaccines are particularly susceptible to treatment-selection bias. Patients receiving individualized therapies may differ systematically from those receiving standard treatment in terms of disease stage, performance status, socioeconomic characteristics, access to specialized centers, and molecular features.

Advanced causal-inference methods can reduce these biases but cannot eliminate all unmeasured confounding. Target-trial emulation, propensity methods, inverse-probability weighting, sensitivity analysis, and instrumental-variable approaches may strengthen evidence, provided their assumptions are explicitly assessed.

The sixteenth analytical domain concerns evolutionary pharmacology. Traditional cancer treatment often seeks maximal tumor reduction, but vaccine therapy introduces a strong immunological selection pressure. The most successful long-term strategy may therefore require controlling evolutionary escape rather than simply maximizing short-term cytotoxicity.

Multivalent targeting can reduce the number of escape pathways. Combination therapies can simultaneously attack different biological vulnerabilities. Longitudinal molecular monitoring can identify emerging resistant clones. These approaches suggest an evolution-informed model of cancer pharmacotherapy.

However, excessive treatment pressure can also accelerate selection. Therefore, treatment intensity should be balanced against evolutionary consequences. Mathematical and computational modeling may eventually help determine which strategies minimize the probability of resistant-clone expansion.

The seventeenth analytical domain concerns adaptive vaccination. A static vaccine formulation assumes that the tumor remains sufficiently stable throughout treatment. This assumption is increasingly inconsistent with contemporary understanding of tumor evolution. Adaptive vaccination would permit modification of antigenic composition as new molecular information becomes available.

Such a strategy would require rapid molecular profiling, validated antigen-selection algorithms, accelerated manufacturing, and regulatory pathways capable of accommodating product modification. If these components become feasible, adaptive vaccination could represent a major conceptual advance.

The eighteenth analytical domain concerns cellular therapy. Vaccination may complement adoptive T-cell approaches by broadening endogenous immunity or sustaining antigen-specific responses after cellular therapy. Conversely, cellular therapy could provide immediate effector capacity while vaccination establishes longer-term immune surveillance.

The principal challenge is cumulative immune toxicity and functional competition. Cellular therapies can generate intense inflammatory responses, and adding vaccination may not always improve outcomes. Combination approaches should therefore be guided by specific mechanistic hypotheses.

The nineteenth analytical domain concerns humoral immunity. The dominant focus on T-cell responses may underestimate antibody-mediated mechanisms. Vaccines can induce antibodies that facilitate tumor-cell recognition, complement activation, or antigen presentation. In selected malignancies, coordinated cellular and humoral responses may produce more comprehensive tumor control.

The twentieth analytical domain concerns spatial immunology. Tumor biology is not adequately described by average molecular measurements. The location of immune cells relative to malignant populations can determine whether immune recognition translates into cytotoxic activity. Spatial technologies therefore provide potentially important biomarkers of treatment accessibility.

This has implications for therapeutic design. A tumor characterized by abundant peripheral immune cells but poor intratumoral infiltration may require interventions targeting trafficking or stromal barriers. Conversely, a tumor with substantial intratumoral immune presence but functional exhaustion may benefit more from checkpoint modulation.

The twenty-first analytical domain concerns metabolic immunology. Immune cells and tumor cells compete for nutrients and adapt to local metabolic conditions. Hypoxia, lactate, adenosine, glucose deprivation, and altered lipid metabolism can suppress effector-cell function. Vaccine efficacy may therefore depend on the metabolic state of the tumor microenvironment.

Metabolic interventions could potentially increase the therapeutic window of immunotherapy, but systemic metabolic modulation can generate toxicity. Precision targeting of tumor-specific metabolic vulnerabilities may therefore be preferable.

The twenty-second analytical domain concerns microbiome interactions. The intestinal microbiome can influence immune tone and responsiveness to certain cancer therapies. Antibiotic exposure, dietary factors, microbial diversity, and metabolic products may influence vaccine effectiveness indirectly.

However, the analysis cautions against simplistic claims that a particular microbial composition universally predicts response. Microbiome effects are context-dependent and may vary according to cancer type, treatment regimen, host factors, and analytical methodology. Prospective validation is required.

The twenty-third analytical domain concerns regulatory and ethical governance. Personalized vaccines involve genomic information, individualized manufacturing, algorithmic decision-making, and long-term data collection. Ethical governance must therefore address informed consent, data privacy, genomic confidentiality, algorithmic transparency, equitable access, and accountability for treatment decisions.

The use of AI introduces additional governance requirements. Clinical algorithms should be validated, monitored for performance drift, and evaluated for population-specific bias. Human oversight must remain central to high-stakes therapeutic decisions.

The twenty-fourth analytical domain concerns global implementation. Personalized vaccine technologies may initially be available primarily in high-resource centers. This creates a potential divide between technologically advanced oncology and routine cancer care.

Strategies for equitable implementation should include standardized sequencing platforms, regional molecular laboratories, scalable manufacturing, workforce development, technology transfer, and appropriate reimbursement. Global clinical trials should deliberately include diverse populations to improve generalizability.

The twenty-fifth analytical domain concerns professional education. The complexity of anticancer vaccine pharmacotherapy requires interdisciplinary competencies. Physicians, pharmacists, nurses, laboratory scientists, and other healthcare professionals need education concerning immune pharmacology, molecular diagnostics, adverse-event recognition, pharmacovigilance, and personalized treatment pathways.

Clinical pharmacists in particular may become central to the integration of molecularly guided therapy with conventional medication management. Their role may extend from dispensing and interaction checking to participation in precision-treatment selection, safety monitoring, longitudinal outcome evaluation, and pharmacovigilance.

The twenty-sixth analytical domain concerns research methodology. Future clinical studies should increasingly adopt integrated translational designs. Baseline tumor sequencing, HLA characterization, immune profiling, serial molecular monitoring, standardized toxicity assessment, and patient-reported outcomes should be incorporated prospectively.

Adaptive platform trials may provide efficient frameworks for evaluating multiple vaccine strategies. Shared control groups, biomarker-adaptive allocation, and predefined decision criteria can accelerate identification of promising approaches while reducing unnecessary exposure to ineffective interventions.

The twenty-seventh analytical domain concerns long-term survivorship. If vaccines successfully establish durable immune surveillance, patients may live for extended periods after treatment. Long-term monitoring should therefore address late toxicities, recurrence, functional health, psychosocial outcomes, and treatment burden.

This is particularly relevant because durable immune activation may produce effects that extend beyond the initial treatment period. Survivorship studies should therefore distinguish between beneficial immune persistence and clinically significant chronic inflammation or autoimmunity.

The twenty-eighth analytical domain concerns the distinction between biological success and clinical success. A vaccine can generate strong antigen-specific immunity without producing meaningful survival benefit. Conversely, a modest immunological signal may sometimes translate into durable tumor control. Therefore, clinical development should avoid assuming a simple linear relationship between immune magnitude and therapeutic efficacy.

The appropriate objective is not maximal immune activation but optimized antitumor immunity. This conceptual distinction is fundamental to the future of vaccine pharmacology.

The twenty-ninth analytical domain concerns therapeutic discontinuation. If molecular residual disease becomes undetectable and durable immune surveillance is demonstrated, indefinite treatment may not always be necessary. Conversely, persistent molecular disease may justify continued or intensified treatment. Biomarker-guided discontinuation could reduce treatment burden and toxicity, but requires rigorous prospective validation.

The thirtieth analytical domain concerns the integration of real-world effectiveness with clinical-trial efficacy. Personalized vaccines may perform differently outside specialized research centers because of differences in patient selection, manufacturing infrastructure, adherence, monitoring, and multidisciplinary expertise. Post-implementation evidence is therefore essential.

The overall analytical synthesis indicates that anticancer vaccine therapeutics should be conceptualized as adaptive precision pharmacotherapy. The vaccine is one component within a continuously evolving therapeutic system. Tumor molecular information determines target selection; host characteristics determine immune capacity; pharmacological combinations modify the treatment environment; biomarkers provide longitudinal feedback; and pharmacovigilance protects against emerging harm.

This integrated model changes the interpretation of therapeutic failure. Failure may arise not because the vaccine concept is intrinsically ineffective but because a specific biological bottleneck was not addressed. Possible bottlenecks include poor antigen selection, inadequate delivery, defective antigen presentation, immune exclusion, metabolic suppression, T-cell exhaustion, excessive tumor burden, antigen loss, or inappropriate treatment sequencing.

Mechanism-based failure classification could therefore improve subsequent treatment selection. Rather than abandoning vaccination after a nonresponse, clinicians may identify the limiting mechanism and determine whether an alternative vaccine, combination therapy, or adaptive strategy could overcome it.

The analysis ultimately supports a multidimensional precision-oncology framework in which treatment selection is based on the intersection of tumor genotype, antigenicity, clonality, immune phenotype, microenvironment, disease burden, host characteristics, pharmacological history, and patient priorities.

Within this framework, anticancer vaccine development becomes inseparable from pharmacovigilance. Every new therapeutic platform generates not only questions of efficacy but also questions of immune safety, delayed toxicity, interaction profiles, manufacturing quality, and long-term outcomes. Safety therefore becomes a continuous component of therapeutic optimization rather than a secondary regulatory requirement.

Similarly, evidence-based medicine must evolve toward evidence integration. Molecular datasets, randomized trials, translational studies, real-world evidence, patient-reported outcomes, and pharmacovigilance signals should be considered complementary sources of information. No single evidence stream can fully describe an intervention as biologically complex as individualized anticancer vaccination.

The final analytical proposition is that the clinical future of anticancer vaccines will depend less on the discovery of a universally superior vaccine platform than on the development of an integrated system capable of matching therapeutic strategy to biological context. The most successful paradigm is likely to combine accurate molecular characterization, high-quality antigen selection, optimized delivery, rational treatment combinations, adaptive sequencing, multidimensional response monitoring, rigorous pharmacovigilance, and patient-centered decision-making.

Accordingly, anticancer vaccination should be regarded as a dynamic therapeutic process rather than a discrete pharmaceutical event. Its success is determined across multiple temporal scales: immediate immune activation, intermediate tumor control, long-term immune memory, evolutionary adaptation, recurrence prevention, survival, and survivorship. The scientific challenge is therefore to construct analytical and clinical systems capable of connecting these temporal dimensions.

The convergence of molecular oncology, immunopharmacology, clinical pharmacology, precision medicine, artificial intelligence, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, and outcomes research creates an unprecedented opportunity to redesign therapeutic cancer vaccination. However, technological sophistication must remain subordinate to demonstrated clinical utility. The ultimate benchmark remains improvement in patient outcomes through safer, more precise, more durable, and more equitable treatment.

The analysis establishes that the next phase of anticancer vaccine science should be characterized by mechanistically informed personalization, evolutionary awareness, adaptive treatment design, longitudinal monitoring, and integrated safety science. The transition from generalized immunization to precision vaccine pharmacotherapy represents not merely an incremental advancement but a broader transformation in the philosophy of cancer treatment. The central objective is no longer simply to activate immunity, but to engineer a durable therapeutic relationship between the immune system and malignant disease while continuously adapting pharmacotherapy to biological change.

The analytical framework provides a coherent basis for future research in which molecular information is translated into actionable therapeutic decisions, immune responses are evaluated according to functional rather than purely quantitative criteria, toxicity is continuously monitored, and clinical effectiveness is assessed through survival, recurrence control, quality of life, and patient-defined outcomes. Such an approach may ultimately enable anticancer vaccines to occupy a more precisely defined and clinically consequential position within contemporary pharmacology and pharmacotherapy.

CONCLUSION

➢ Anticancer vaccines represent an increasingly sophisticated domain of translational pharmacology in which molecular oncology, tumor immunology, clinical pharmacotherapy, precision medicine, pharmacovigilance, and outcomes science converge within an adaptive therapeutic framework. The present scientific appraisal demonstrates that the contemporary development of anticancer vaccines has progressed substantially beyond the conceptual paradigm of nonspecific immune stimulation toward highly individualized therapeutic interventions capable of exploiting tumor-specific antigenic architecture, neoantigen landscapes, clonal evolution, host immunogenetic characteristics, and disease-specific biological vulnerabilities. Their therapeutic potential is therefore determined not merely by vaccine composition, but by the complex interaction between antigen quality, antigen processing and presentation, HLA compatibility, tumor clonality, immune competence, tumor-microenvironmental constraints, treatment timing, and pharmacological context.

- The evidence further indicates that immunogenicity should not be regarded as a surrogate equivalent of therapeutic efficacy. Effective anticancer vaccination requires successful translation of antigen recognition into durable, functionally competent, tumor-directed cellular and humoral immune responses capable of overcoming immune exhaustion, immunosuppressive cellular populations, metabolic restriction, hypoxia, stromal barriers, defective antigen presentation, and evolutionary immune escape. Consequently, pharmacodynamic evaluation should incorporate multidimensional biomarkers, including immune-cell activation, T-cell receptor dynamics, circulating tumor DNA, minimal residual disease, antigen expression, molecular response, and longitudinal immune-memory parameters. Such integrated monitoring can facilitate earlier recognition of therapeutic benefit, biological resistance, disease recurrence, and the need for adaptive treatment modification.
- The therapeutic benefit–risk relationship of anticancer vaccines must likewise be interpreted through a comprehensive pharmacological and pharmacovigilance perspective. Although many vaccine-related adverse events may be manageable, immune-mediated toxicities, inflammatory complications, delayed adverse reactions, interactions with concomitant anticancer therapies, and rare long-term safety signals necessitate systematic surveillance extending beyond conventional clinical-trial observation periods. Pharmacovigilance should therefore incorporate standardized causality assessment, signal detection, longitudinal safety monitoring, real-world evidence, and multidisciplinary clinical oversight. Clinical pharmacists have an important role in medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event recognition, adherence optimization, patient education, and individualized pharmacotherapeutic decision-making.
- The analysis also establishes that the future effectiveness of anticancer vaccination will depend substantially upon rational therapeutic integration. Combination strategies involving immune-checkpoint blockade, targeted agents, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapy, and other immunomodulatory interventions should be selected according to mechanistic complementarity, tumor biology, disease burden, treatment sequence, toxicity liabilities, and patient-specific characteristics rather than empirical combination alone. Particular promise exists in minimal-residual-disease and adjuvant settings, where vaccination may be deployed against a lower tumor burden and potentially strengthen durable immune surveillance.
- Anticancer vaccine pharmacology should be conceptualized as a dynamic, data-intensive, patient-centered discipline integrating molecular characterization, precision antigen selection, individualized vaccine engineering, pharmacodynamic monitoring, evidence-based combination therapy, comprehensive pharmacovigilance, real-world effectiveness assessment, and longitudinal clinical outcome evaluation. Future progress will depend upon harmonized biomarker frameworks, adaptive clinical-trial methodologies, advanced computational and artificial-intelligence platforms, single-cell and spatial technologies, robust regulatory standards, equitable manufacturing capacity, and multidisciplinary clinical implementation. Such an integrated paradigm offers the strongest scientific foundation for transforming anticancer vaccines from promising immunological technologies into reproducible, safe, clinically meaningful, and increasingly personalized components of modern cancer pharmacotherapy.

RECOMMENDATIONS

- Based on the integrated pharmacological, immunological, molecular, clinical, and pharmacovigilance considerations identified in this scientific appraisal, several strategic recommendations can be proposed for the continued development and therapeutic implementation of anticancer vaccines.
- Vaccine development should increasingly adopt a precision-oriented framework in which antigen selection is determined through comprehensive molecular characterization of individual

tumors. Genomic and transcriptomic profiling should be integrated with neoantigen prediction, HLA typing, antigen expression assessment, clonality analysis, and experimental validation to prioritize biologically relevant and therapeutically actionable targets rather than relying predominantly on computational antigenicity predictions.

- Anticancer vaccine research should incorporate multidimensional pharmacodynamic assessment. Conventional clinical endpoints should be complemented by longitudinal evaluation of immune-cell phenotypes, T-cell receptor repertoire, circulating tumor DNA, minimal residual disease, antigen-specific immune responses, molecular tumor burden, and immune-memory persistence. Harmonized biomarker frameworks should be established to distinguish biological immunogenicity from clinically meaningful therapeutic response and to facilitate early identification of resistance or disease recurrence.
- Clinical development should prioritize rationally designed combination and sequencing strategies. Anticancer vaccines should be evaluated in combination with immune-checkpoint inhibitors, molecularly targeted therapies, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, and other immunomodulatory interventions according to mechanistic complementarity and patient-specific tumor biology. Particular attention should be directed toward adjuvant and minimal-residual-disease settings, where reduction of tumor burden may enhance the probability of generating durable immune-mediated disease control.
- Vaccine pharmacology should be incorporated explicitly into clinical trial design. Investigators should systematically evaluate dose, schedule, formulation, route of administration, adjuvant selection, pharmacodynamic exposure, treatment timing, and biological interactions with concomitant therapies. Although conventional pharmacokinetic principles may have limited applicability to certain biological vaccine platforms, exposure–response relationships, immune activation kinetics, cellular trafficking, and duration of pharmacological effects should be investigated wherever scientifically appropriate.
- Comprehensive pharmacovigilance systems should accompany anticancer vaccine development throughout the entire product life cycle. Standardized adverse-event classification, causality assessment, signal detection, long-term surveillance, immunosafety monitoring, and real-world safety evaluation should be incorporated into clinical practice. Particular attention should be given to delayed immune-mediated toxicities, inflammatory syndromes, cumulative effects of combination regimens, and previously unrecognized safety signals. Clinical pharmacists should be integrated into multidisciplinary oncology teams to strengthen medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event management, adherence support, and patient education.
- Future research should employ advanced analytical technologies, including artificial intelligence, machine learning, single-cell sequencing, spatial transcriptomics, systems immunology, computational neoantigen modeling, and longitudinal liquid-biopsy platforms. These technologies should be integrated with clinically validated datasets rather than used as isolated predictive instruments, thereby improving biological interpretability and clinical applicability.
- The anticancer vaccine implementation should remain firmly patient-centered and evidence-based. Clinical decisions should incorporate survival, quality of life, treatment burden, patient preferences, functional outcomes, and socioeconomic considerations alongside molecular and immunological biomarkers. Regulatory harmonization, standardized manufacturing procedures, transparent evidence assessment, equitable access, pharmacoeconomic evaluation, and international data collaboration should be strengthened. Collectively, these recommendations support the development of an adaptive precision-pharmacotherapy model in which anticancer vaccines are continuously optimized through integration of molecular evidence,

clinical pharmacology, immunological monitoring, pharmacovigilance, real-world effectiveness, and individualized patient care.

REFERENCES

1. Melief CJM. Therapeutic vaccination for active induction of T cell immunity against cancer, ready for a rich harvest after 40 years. J Immunother Cancer. 2026.
2. Nowzari F, et al. Evolution and trends in non-viral mRNA cancer vaccines: a scoping review from 2015 to 2025. Vaccine. 2026;71:128059.
3. Wu DW, Jia SP, Xing SJ, Ma HL, Wang X, Tang QY, et al. Personalized neoantigen cancer vaccines: current progression, challenges and a bright future. Cell Mol Immunol. 2024;24:229.
4. Weber JS, Carlino MS, Khattak A, Meniawy T, Ansstas G, Taylor MH, et al. Individualised neoantigen therapy mRNA-4157 (V940) plus pembrolizumab versus pembrolizumab monotherapy in resected melanoma (KEYNOTE-942): a randomised, phase 2b study. Lancet. 2024;403(10427):632-644.
5. Ott PA, Hu Z, Keskin DB, Shukla SA, Sun J, Bozym DJ, et al. An immunogenic personal neoantigen vaccine for patients with melanoma. Nature. 2017;547(7662):217-221.
6. Sahin U, Derhovanessian E, Miller M, Kloke BP, Simon P, Löwer M, et al. Personalized RNA mutanome vaccines mobilize poly-specific therapeutic immunity against cancer. Nature. 2017;547(7662):222-226.
7. Keskin DB, Anandappa AJ, Sun J, Tirosh I, Mathewson ND, Li S, et al. Neoantigen vaccine generates intratumoral T cell responses in phase Ib glioblastoma trial. Nature. 2019;565(7738):234-239.
8. Hilf N, Salabert N, Miller M, Saint-Charles G, Clauser KR, Régnier F, et al. Actively personalized vaccination trial for newly diagnosed glioblastoma. Nature. 2019;565(7738):240-245.
9. Sahin U, Türeci Ö. Personalized vaccines for cancer immunotherapy. Science. 2018;359(6382):1355-1360.
10. Hu Z, Ott PA, Wu CJ. Towards personalized, tumour-specific, therapeutic vaccines for cancer. Nat Rev Immunol. 2018;18(3):168-182.
11. Blass E, Ott PA. Advances in the development of personalized neoantigen-based therapeutic cancer vaccines. Nat Rev Clin Oncol. 2021;18(4):215-229.
12. Schumacher TN, Schreiber RD. Neoantigens in cancer immunotherapy. Science. 2015;348(6230):69-74.
13. Castle JC, Kreiter S, Diekmann J, Löwer M, van de Roemer N, de Graaf J, et al. Exploiting the mutanome for tumor vaccination. Cancer Res. 2012;72(5):1081-1091.
14. Gubin MM, Zhang X, Schuster H, Caron E, Ward JP, Noguchi T, et al. Checkpoint blockade cancer immunotherapy targets tumour-specific mutant antigens. Nature. 2014;515(7528):577-581.
15. Yadav M, Jhunjhunwala S, Phung QT, Lupardus P, Tanguay J, Bumbaca S, et al. Predicting immunogenic tumour mutations by combining mass spectrometry and exome sequencing. Nature. 2014;515(7528):572-576.
16. Tran E, Robbins PF, Rosenberg SA. 'Final common pathway' of human cancer immunotherapy: targeting neoantigens. Nat Rev Immunol. 2017;17(3):169-178.
17. Borden ES, Buetow KH, Wilson MA, Hastings KL. Cancer neoantigens: challenges and future directions for prediction, prioritization, and validation. Front Oncol. 2022;12:836821.
18. Richters MM, Xia H, Campbell KM, Gillanders WE. Understanding tumor neoantigen presentation and its contribution to cancer immunogenicity. Curr Opin Immunol. 2018;51:133-138.
19. Vormehr M, Diken M, Kranz LM, Kreiter S, Sahin U. Mutanome-based vaccines and RNA vaccines for cancer. Curr Opin Immunol. 2016;39:102-110.
20. Sahin U, Kariko K, Türeci Ö. mRNA-based therapeutics—developing a new class of drugs. Nat Rev Drug Discov. 2014;13(10):759-780.
21. Pardi N, Hogan MJ, Porter FW, Weissman E. mRNA vaccines—a new era in vaccinology. Nat Rev Drug Discov. 2018;17(4):261-279.
22. Pardi N, Parkhouse K, Kirkpatrick E, McMahon M, Zost S, Mui BL, et al. Nucleoside-modified mRNA immunization elicits influenza virus hemagglutinin stalk-specific antibodies. Nat Commun. 2018;9:3361.
23. Karikó K, Buckstein M, Ni H, Weissman E. Suppression of RNA recognition by Toll-like receptors: the impact of nucleoside modification and the evolutionary origin of RNA. Immunity. 2005;23(2):165-175.
24. Karikó K, Muramatsu H, Welsh FA, Ludwig J, Kato H, Akira S, et al. Incorporation of pseudouridine into mRNA yields superior nonimmunogenic vector with increased translational capacity and biological stability. Mol Ther. 2008;16(11):1833-1840.
25. Sahin U, Türeci Ö. Personalized cancer vaccines: from bench to bedside. Nat Rev Drug Discov. 2022;21:1-3.
26. Berraondo P, Cuesta R, Sanmamed MF, Melero I. Immunogenicity and efficacy of personalized adjuvant mRNA cancer vaccines. Cancer Discov. 2024.

27. Zhang W, et al. Neoantigen-specific mRNA/DC vaccines for effective anticancer immunotherapy. Genes Immun. 2024.
28. Haas H, et al. Therapeutic cancer vaccination with ex vivo RNA-transfected dendritic cells—an update. Pharmaceutics. 2020;12(2):92.
29. Baldin AV, Savvateeva LV, Bazhin AA, Zamyatnin AA Jr. Dendritic cells in anticancer vaccination: rationale for ex vivo loading or in vivo targeting. Cancers. 2020;12(3):590.
30. Yin W, Duluc D, Joo H, Oh S. Dendritic cell targeting vaccine for HPV-associated cancer. Vaccines. 2017;5(1):5.
31. Melief CJM, van Hall T, Arens R, Ossendorp F, van der Burg SH. Therapeutic cancer vaccines. J Clin Invest. 2015;125(9):3401-3412.
32. Finn OJ. The dawn of vaccines for cancer prevention. Nat Rev Immunol. 2018;18(2):119-122.
33. Finn OJ. Cancer vaccines: between the idea and the reality. Nat Rev Immunol. 2003;3(8):630-641.
34. Butterfield LH. Cancer vaccines. BMJ. 2015;350.
35. Saxena M, van der Burg SH, Melief CJM, Bhardwaj N. Therapeutic cancer vaccines. Nat Rev Cancer. 2021;21(6):360-378.
36. Lollini PL, Cavallo F, Nanni P, Forni G. Vaccines for tumour prevention. Nat Rev Cancer. 2006;6(3):204-213.
37. Coulie PG, Van den Eynde BJ, van der Bruggen P, Boon T. Tumour antigens recognized by T lymphocytes: at the core of cancer immunotherapy. Nat Rev Cancer. 2014;14(2):135-146.
38. Cheever MA, Allison JP, Ferris AS, Finn OJ, Hastings BM, Hwang ES, et al. The prioritization of cancer antigens: a national cancer institute pilot project for the acceleration of translational research. Clin Cancer Res. 2009;15(17):5323-5337.
39. Finn OJ, Rammensee HG. Is it possible to develop cancer vaccines to prevent carcinogenesis? Nat Rev Immunol. 2008;8(10):858-867.
40. Butterfield LH. Dendritic cells and cancer immunotherapy. J Immunother. 2013;36(4):197-205.
41. Wirth TC, Kühnel F. Neoantigen targeting—dream or reality? Vaccines. 2019;7(3):126.
42. Schumacher TN, Scheper W, Kvistborg P. Cancer neoantigens. Annu Rev Immunol. 2019;37:173-200.
43. Blankenstein T, Coulie PG, Gilboa E, Jaffee EM. The determinants of tumour immunogenicity. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):307-313.
44. Beatty GL, Gladney WL. Immune escape mechanisms as a guide for cancer immunotherapy. Clin Cancer Res. 2015;21(4):687-692.
45. Dunn GP, Bruce AT, Ikeda H, Old LJ, Schreiber RD. Cancer immunoediting: from immunosurveillance to tumor escape. Nat Immunol. 2002;3(11):991-998.
46. Dunn GP, Old LJ, Schreiber RD. The immunobiology of cancer immunosurveillance and immunoediting. Immunity. 2004;21(2):137-148.
47. Schreiber RD, Old LJ, Smyth MJ. Cancer immunoediting: integrating immunity's roles in cancer suppression and promotion. Science. 2011;331(6024):1565-1570.
48. Hanahan D. Hallmarks of cancer: new dimensions. Cancer Discov. 2022;12(1):31-46.
49. Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of cancer: the next generation. Cell. 2011;144(5):646-674.
50. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment (TIME) for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
51. Joyce JA, Fearon DT. T cell exclusion, immune privilege, and the tumor microenvironment. Science. 2015;348(6230):74-80.
52. Joyce JA, Pollard JW. Microenvironmental regulation of metastasis. Nat Rev Cancer. 2009;9(4):239-252.
53. Quail DF, Joyce JA. Microenvironmental regulation of tumor progression and metastasis. Nat Med. 2013;19(11):1423-1437.
54. Hinshaw DC, Shevde LA. The tumor microenvironment innately modulates cancer progression. Cancer Res. 2019;79(18):4557-4566.
55. Anderson KG, Stromnes IM, Greenberg PD. Obstacles posed by the tumor microenvironment to T cell activity: a role for immunosuppressive cells and hypoxia. Nat Rev Cancer. 2017;17(10):628-641.
56. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
57. Chen DS, Mellman I. Elements of cancer immunity and the cancer-immune set point. Nature. 2017;541(7637):321-330.
58. Chen DS, Mellman I. Oncology meets immunology: the cancer-immunity cycle. Immunity. 2013;39(1):1-10.
59. Hegde PS, Chen DS. Top 10 challenges in cancer immunotherapy. Immunity. 2020;52(1):17-35.
60. Sharma P, Allison JP. The future of immune checkpoint therapy. Science. 2015;348(6230):56-61.
61. Pardoll DM. The blockade of immune checkpoints in cancer immunotherapy. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):252-264.

62. Ribas A, Wolchok JD. Science of cancer immunotherapy. Science. 2018;359(6382):1350-1355.
63. Topalian SL, Drake CG, Pardoll DM. Immune checkpoint blockade: a common denominator approach to cancer therapy. Cancer Cell. 2015;27(4):450-461.
64. Robert C, Long GV, Brady B, Dutriaux C, Maio M, Mortier L, et al. Nivolumab in previously untreated melanoma without BRAF mutation. N Engl J Med. 2015;372(4):320-330.
65. Hodi FS, O'Day SJ, McDermott DF, Weber RW, Sosman JA, Haanen JB, et al. Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma. N Engl J Med. 2010;363(8):711-723.
66. Wolchok JD, Kluger H, Callahan MK, Postow MA, Rizvi NA, Lesokhin AM, et al. Nivolumab plus ipilimumab in advanced melanoma. N Engl J Med. 2013;369(2):122-133.
67. Le DT, Durham JN, Smith KN, Wang H, Bartlett BR, Aulakh LK, et al. Mismatch repair deficiency predicts response of solid tumors to PD-1 blockade. Science. 2017;357(6349):409-413.
68. Overman MJ, McDermott R, Leach JL, Lonardi S, Lenz HJ, Morse MA, et al. Nivolumab in patients with metastatic DNA mismatch repair-deficient or microsatellite instability-high colorectal cancer. J Clin Oncol. 2017;35(8):773-781.
69. Tumeh PC, Harview CL, Yearley JH, Shintaku IP, Taylor EJM, Robert L, et al. PD-1 blockade induces responses by inhibiting adaptive immune resistance. Nature. 2014;515(7528):568-571.
70. Fridman WH, Pagès F, Sautès-Fridman C, Galon J. The immune contexture in human tumours: impact on clinical outcome. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):298-306.
71. Galon J, Costes A, Sanchez-Cabo F, Kirilovsky A, Mlecnik B, Lagorce-Pagès C, et al. Type, density, and location of immune cells within human colorectal tumors predict clinical outcome. Science. 2006;313(5795):1960-1964.
72. Pagès F, Mlecnik B, Marliot F, Bindea G, Ou FS, Bifulco C, et al. International validation of the consensus Immunoscore for the classification of colon cancer. Lancet. 2018;391(10135):2128-2139.
73. Mlecnik B, Bindea G, Angell HK, Maby P, Angelova M, Tougeron D, et al. Integrative analyses of colorectal cancer show immunoscore is a stronger predictor of patient survival than microsatellite instability. Immunity. 2016;44(3):698-711.
74. Binnewies M, Mujal AM, Pollack JL, Komurov K, Zhang S, Scolnick JA, et al. Unleashing type-2 dendritic cells to drive tumor immunity. Cancer Cell. 2019;35(2):227-243.
75. Gardner A, Ruffell B. Dendritic cells and cancer immunity. Trends Immunol. 2016;37(12):855-865.
76. Wculek SK, Cueto FJ, Mujal AM, Melero I, Krummel MF, Sancho D. Dendritic cells in cancer immunology and immunotherapy. Nat Rev Immunol. 2020;20(1):7-24.
77. Sabado RL, Balan S, Bhardwaj N. Dendritic cell-based immunotherapy. Cell Res. 2017;27(1):74-95.
78. Anguille S, Smits EL, Bryant C, Van Acker HH, Goossens H, Lion E, et al. Dendritic cells as pharmacological tools for cancer immunotherapy. Pharmacol Rev. 2015;67(2):328-359.
79. Kantoff PW, Higano CS, Shore ND, Berger ER, Small EJ, Penson DF, et al. Sipuleucel-T immunotherapy for castration-resistant prostate cancer. N Engl J Med. 2010;363(5):411-422.
80. Kantarjian H, Stein A, Gökbuget N, Fielding AK, Schuh AC, Ribera JM, et al. Blinatumomab versus chemotherapy for advanced acute lymphoblastic leukemia. N Engl J Med. 2017;376(9):836-847.
81. Andtbacka RHI, Kaufman HL, Collichio F, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Talimogene laherparepvec improves durable response rate in patients with advanced melanoma. J Clin Oncol. 2015;33(25):2780-2788.
82. Andtbacka RHI, Kaufman HL, Collichio F, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Talimogene laherparepvec in melanoma. J Clin Oncol. 2019;37(12):1011-1020.
83. Pol J, Kroemer G, Galluzzi L. First oncolytic virus approved for cancer therapy. Cancer Cell. 2015;27(2):145-146.
84. Russell SJ, Peng KW, Bell JC. Oncolytic virotherapy. Nat Biotechnol. 2012;30(7):658-670.
85. Lawler SE, Speranza MC, Cho CF, Chiocca EA. Oncolytic viruses in cancer treatment: a review. JAMA Oncol. 2017;3(6):841-849.
86. Andtbacka RHI, Curti BD, Kaufman HL, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Patterns of clinical response with talimogene laherparepvec in melanoma. J Clin Oncol. 2019;37(12):1011-1020.
87. Hodi FS, Butler M, Oble DA, Seiden MV, Haluska FG, Kruse A, et al. Immunologic and clinical effects of antibody blockade of cytotoxic T lymphocyte-associated antigen 4 in previously vaccinated cancer patients. Proc Natl Acad Sci USA. 2008;105(8):3005-3010.
88. van der Burg SH, Arens R, Ossendorp F, van Hall T, Melief CJM. Vaccines for established cancer: overcoming the challenges posed by immune evasion. Nat Rev Cancer. 2016;16(4):219-233.
89. Melief CJM, Welters MJP, Vergote I, Kroep JR. Cancer vaccines: the emergence of a new era. Nat Rev Cancer. 2024.
90. Galluzzi L, Vacchelli E, Bravo-San Pedro JM, Buqué A, Senovilla L, Baracco EE, et al. Classification of current anticancer immunotherapies. Oncotarget. 2014;5(24):12472-12508.

91. Vacchelli E, Vitale I, Eggermont A, Fridman WH, Fučíková J, Cremer I, et al. Trial watch: dendritic cell-based interventions for cancer therapy. Oncoimmunology. 2013;2(10).
92. Vacchelli E, Eggermont A, Fridman WH, Galon J, Sautès-Fridman C, Tartour E, et al. Trial watch: immune checkpoint blockers for cancer therapy. Oncoimmunology. 2015;4(12).
93. Couzin-Frankel J. Breakthrough of the year 2013: cancer immunotherapy. Science. 2013;342(6165):1432-1433.
94. Topalian SL, Taube JM, Pardoll DM. Neoadjuvant checkpoint blockade for cancer immunotherapy. Science. 2020;367(6477).
95. Blank CU, Haining WN, Held W, Hogan PG, Kallies A, Lugli E, et al. Defining 'T cell exhaustion'. Nat Rev Immunol. 2019;19(11):665-674.
96. Wherry EJ, Kurachi M. Molecular and cellular insights into T cell exhaustion. Nat Rev Immunol. 2015;15(8):486-499.
97. McLane LM, Abdel-Hakeem MS, Wherry EJ. CD8 T cell exhaustion during chronic viral infection and cancer. Annu Rev Immunol. 2019;37:457-495.
98. Thommen DS, Schumacher TN. T cell dysfunction in cancer. Cancer Cell. 2018;33(4):547-562.
99. Binnewies M, Mujal AM, Pollack JL, Komurov K, Zhang S, Scolnick JA, et al. Unleashing type-2 dendritic cells to drive tumor immunity. Cancer Cell. 2019;35(2):227-243.
100. Veglia F, Sanseviero E, Gabrilovich DI. Myeloid-derived suppressor cells in the era of increasing myeloid cell diversity. Nat Rev Immunol. 2021;21(8):485-498.
101. Kumar V, Patel S, Tcyganov E, Gabrilovich DI. The nature of myeloid-derived suppressor cells in the tumor microenvironment. Trends Immunol. 2016;37(3):208-220.
102. DeVito NC, Plebanek MP, Theivanthiran B, Hanks BA. Role of tumor-mediated dendritic cell dysfunction in cancer progression. J Clin Invest. 2019;129(8):3163-3174.
103. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
104. Galluzzi L, Buqué A, Kepp O, Zitvogel L, Kroemer G. Immunogenic cell death in cancer and infectious disease. Nat Rev Immunol. 2017;17(2):97-111.
105. McGranahan N, Rosenthal R, Hiley CT, Rowan AJ, Watkins TBK, Wilson GA, et al. Allele-specific HLA loss and immune escape in lung cancer evolution. Cell. 2017;171(6):1259-1271.e11.
106. Marty R, Kaabinejadian S, Rossell D, Slifker MJ, Eberhardt C, Huber RG, et al. MHC-I genotype restricts the repertoire of shared neoantigens in cancer. Nat Genet. 2017;49(12):1782-1792.
107. Chowell D, Krishna C, Pierini F, Makarov V, Rizvi NA, Kuo F, et al. Evolutionary divergence of HLA class I genotype impacts efficacy of cancer immunotherapy. Nat Med. 2019;25(11):1715-1720.
108. Rooney MS, Shukla SA, Wu CJ, Getz G, Hacohen N. Molecular and genetic properties of tumors associated with local immune cytolytic activity. Cell. 2015;160(1-2):48-61.
109. Łuksza M, Riaz N, Makarov V, Balachandran VP, Hellmann MD, Solovyov A, et al. A neoantigen fitness model predicts tumour response to checkpoint blockade immunotherapy. Nature. 2017;551(7681):517-520.
110. Balachandran VP, Łuksza M, Zhao JN, Makarov V, Moral AJ, Bhandari V, et al. Identification of unique neoantigen qualities in long-term survivors of pancreatic cancer. Nature. 2017;551(7681):496-500.
111. Rojas LA, Sethna Z, Soares KC, Olcese C, Pang Z, Patterson E, et al. Personalized RNA neoantigen vaccines stimulate T cells in pancreatic cancer. Nature. 2023;618(7963):144-150.
112. Weber JS, Carlino MS, Khattak A, Meniawy T, Ansstas G, Taylor MH, et al. Individualised neoantigen therapy mRNA-4157 (V940) plus pembrolizumab versus pembrolizumab alone in resected melanoma. Lancet. 2024;403(10427):632-644.
113. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of emerging novel anticancer vaccine platforms: Innovations, mechanistic pharmacological insights, translational clinical applications, and future research perspectives and strategic directions. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 99–132.
114. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., Sulashvili, M., & Okropiridze, T. (2025). Scientific discourse on the characteristics of new anticancer vaccines: Innovations, pharmacology, clinical applications and future perspectives. *Collection of Academic Papers, KREBSI*, #17, Shota Meskhia Zugdidi State University, 189–215.
115. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.

116. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Lomia, E. (2024). The key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 563–587.
117. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The key issue aspects, characteristics and effects of antioxidants in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 588–609.
118. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Ratiani, L., Ghambashidze, K., Alavidze, N., Giorgobiani, M., & Okropiridze, T. (2024). The manifestation of peculiarities of temozolomide mechanism of action, some pharmacotherapeutic effects and resistance mechanisms in cancer in clinical applications. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 45–63.
119. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Giorgobiani, M., & Beglaryan, M. (2024). Modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement use of antioxidants in immunotherapy. *Materials of the 1st International Scientific and Practical Conference "Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 33–38.
120. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). Manifestation of modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement of use monoclonal antibodies in medicine. *Materials of the 1st International Scientific and Practical Conference "Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 33–38.
121. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). Modern aspects of achievements and potential of antioxidants' pharmacotherapy in evidence-based medicine. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 119–141.
122. Sulashvili, N., Alavidze, N., Beglaryan, M., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of modern aspects of achievements of the potential of artificial intellect in various medical and pharmaceutical care provision direction. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 310–325.
123. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Alavidze, N. (2024). Modern aspects of achievements of the innovative approaches of peculiarities of monoclonal antibodies potential in pharmacotherapy and evidence-based medicine. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 249–270.
124. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The peculiarities of monoclonal antibodies achievements and perspectives in pharmacotherapeutic practice in therapeutic applications. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 375–405.
125. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The peculiarities of manifestation of achievements and perspectives of antioxidants in allergy pharmacotherapy practice in therapeutic applications. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 339–375.
126. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The scientific talks of the peculiarities of achievements and perspectives of clinical pharmacists' occupation and pharmaceutical regulations issue applications in pharmaceutics and health care in Georgia and globally. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 405–435.
127. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). Key issue aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. *Conference Proceedings of the Tenth International Scientific-Practical Conference "In Modern Medicine and Health: Prognosis, Achievement and Challenges"*, April 21–22, Tallinn, Estonia, 12–13.
128. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of features of modern problems of pharmacotherapy of human diseases in general. *Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Medicines for Humans"*, March 21–22, Kharkiv, Ukraine, 30–36.
129. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of topical issues aspects of peculiarities of monoclonal antibodies in clinical pharmacology and clinical pharmacy. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 55–77.

130. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of the global challenges of topical issues aspects of COVID-19 pandemic and general drug therapy aspects, afore to global vaccination. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 94–112.
131. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The scientific talks of features of topical issue aspects of the profession of clinical pharmacists globally. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 118–138.
132. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Alavidze, N. (2024). The manifestation of outlooks of features of topical issue aspects of pharmaceutical adjustment and challenge seeing by public health specialists in Georgia. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 231–254.
133. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of scientific talks of features of pharmacists' professional topical issues aspects in Georgia and globally. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 231–254.
134. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The manifestation of peculiarities of temozolomide mechanism of action, some pharmacotherapeutic effects and resistance mechanisms in cancer in clinical applications. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 45–63.
135. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of peculiarities, side effects and toxicities of drugs and their summons features in clinical application at different ages. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 69–87.
136. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of key issue features in immunopharmacology of potential applications of zeolite-containing Geomin Forte as food supplement in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 33–37.
137. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., & Alavidze, N. (2024). The manifestation of key issue features and challenges of immunotherapy in modern medical treatments and future innovations in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 45–47.
138. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of some features immunological, immunopathological and molecular aspects of cancer pathogenesis and treatment challenges. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 61–66.
139. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of some features of rational pharmacotherapy, drug safety, age and side effects. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 35–40.
140. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The manifestation of some peculiarities of antioxidants' role in immunology and immunotherapy. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 40–43.
141. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). The features and challenges of modern teaching and learning methods and contemporary pedagogical approaches in pharmaceutical study programs in higher educational institutions in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 51–53.
142. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Gorgaslidze, N. (2024). The manifestation of key issue aspects of role of the pharmacist in ensuring the rational use of medicines and pharmacotherapy in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 54–56.
143. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). Cutting-edge breakthroughs and emerging challenges in modern pharmacotherapy: Optimizing antioxidant strategies for enhanced immunotherapy efficacy and patient outcomes. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 61–63.
144. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Gorgaslidze, N. (2024). The characteristics of genetics of microorganisms and pharmacotherapy strategies: Mechanisms, resistance, adaptation, innovations and imminent challenges. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 64–67.

145. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. *Southern Caucasus Scientific Journals; Ambiance in Life; International Scientific Journal in Medicine*, 15(01), 49–66.
146. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The scientific discussion of some key issue aspects of features, characteristics, action and cytotoxicity of temozolomide in cancer chemotherapy in general. *Proceedings Book of 5th Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*, December 21–22, Ankara, Turkey, 1019–1040.
147. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The scientific discussion of manifestation of singularities of pharmacists' occupational challenges, professional accomplishment and future prospects in the light of clinical pharmacy direction in Georgia in general and in Eastern Europe. *Proceedings Book of 5th Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*, December 21–22, Ankara, Turkey, 990–1018.
148. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of key issue aspects of some features of genetic views of carbohydrate metabolism disorder in glycogen storage disease and treatment strategy summons. *Caucasus Economic & Social Analysis Journal of Southern Caucasus*, 61(12), Issue 04, 15–36.
149. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The manifestation of key issue aspects of features of influence of medications on the living organisms, including humans and their physical environment. *Caucasus Economic & Social Analysis Journal of Southern Caucasus*, 61(12), Issue 04, 37–60.
150. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2025). The scientific discourse on the characteristics of new anticancer vaccines: Innovations, pharmacology, clinical applications and future perspectives. *Collection of Academic Papers, KREBSI*, #17, Shota Meskhia Zugdidi State University, 189–215.
151. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., Chichoyan, N., Gabunia, L., & Kvizhinadze, N. (2025). A comprehensive evaluation of key determinants influencing pharmacists' professional formation, job satisfaction, occupational advancement and underlying constraints in Georgia in general. *Bulletin of the Medical College After Mehrabyan*, 18, 116–142.
152. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of antibody–drug conjugates: Molecular mechanisms, immune interactions, clinical efficacy, toxicity, and emerging therapeutic strategies. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 41–66.
153. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). Comprehensive analytical review of emerging novel anticancer vaccine platforms: Innovations, mechanistic pharmacological insights, translational clinical applications, and future research perspectives and strategic directions. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 99–132.
154. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.
155. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.
156. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2025). The scientific discourse on contemporary advancements, transformative innovations, emerging diagnostic technologies, scientific breakthroughs, analytical methodologies and future perspectives of clinical laboratory diagnostic sciences in oncohematology. *Proceedings of the 5th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Modern Achievements and Prospects of Clinical Laboratory Diagnostic Medicine"*, May 27, Kharkiv, Ukraine, 114–118.
157. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2025). The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance frameworks. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference "Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines"*, June 16, Kharkiv, Ukraine, 9–31.
158. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Lomia, E. (2025). The key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 563–587.
159. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2025). The key issue aspects, characteristics and effects of antioxidants in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 588–609.

160. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2026). The scientific discourse on pharmacology, mechanisms of action, pharmacological safety, side effects, and toxicity of anticancer medications in modern oncology: Pharmacovigilance and integrated approaches to evidence-based pharmacotherapy, pharmacogenomics, personalized medicine, and therapeutic drug monitoring strategies. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference "World Scientific Reports"*, August 27–28, Paris, France, 15–58.
161. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2026). Comprehensive scientific evaluation of the principal clinical, diagnostic, and therapeutic dimensions of endovascular interventional management in gastrointestinal and duodenal ulcer hemorrhage: A concise case-based analytical report. *Proceedings Book of ISPEC 11th International Congress on Medicine and Health Sciences*, May 23–31, Madrid, Spain, 598–628.
162. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2026). The scientific discourse on redefining and enhancing higher medical pharmacology education for medical doctor (MD) students in universities: A comprehensive evidence-based conceptual framework integrating pharmacology, pharmacotherapy and clinical pharmacology through competency-based, innovative, clinically relevant and evidence-informed teaching and learning strategies. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference "Reviews of Modern Science"*, September 3–4, Zürich, Switzerland, 44–94.
163. Kroemer G, Galon J. Elements of cancer immunology and the cancer-immunity cycle. Cell. 2013;154(5):1053-1057.
164. Zitvogel L, Apetoh L, Ghiringhelli F, Kroemer G. Immunological aspects of cancer chemotherapy. Nat Rev Immunol. 2008;8(1):59-73.
165. Demaria S, Formenti SC. The radiation-induced cancer immunology revolution. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2012;84(4):879-883.
166. Sharabi AB, Lim M, DeWeese TL, Drake CG. Radiation and checkpoint blockade immunotherapy: radiosensitisation and potential mechanisms of synergy. Lancet Oncol. 2015;16(13).
167. Twyman-Saint Victor C, Rech AJ, Maity A, Rengan R, Pauken KE, Stelekati E, et al. Radiation and dual checkpoint blockade activate non-redundant immune mechanisms in cancer. Nature. 2015;520(7547):373-377.
168. Chan TA, Yarchoan M, Jaffee E, Swanton C, Quezada SA, Stenzinger A, et al. Development of tumor mutation burden as an immunotherapy biomarker: utility for the oncology clinic. Ann Oncol. 2019;30(1):44-56.
169. Samstein RM, Lee CH, Shoushtari AN, Hellmann MD, Shen R, Janjigian YY, et al. Tumor mutational load predicts survival after immunotherapy across multiple cancer types. Nat Genet. 2019;51(2):202-206.
170. McGranahan N, Furness AJS, Rosenthal R, Ramskov S, Lyngaa R, Saini SK, et al. Clonal neoantigens elicit T cell immunoreactivity and sensitivity to immune checkpoint blockade. Science. 2016;351(6280):1463-1469.

ISARC
INTERNTIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE COMPREHENSIVE SCIENTIFIC DISCUSSION ON PHARMACOVIGILANCE AND INTEGRATED PHARMACOLOGICAL SAFETY DETERMINATION OF MEDICATIONS USED IN ADDICTION TREATMENT: CLINICAL EVALUATION, RISK MANAGEMENT, THERAPEUTIC MONITORING, EVIDENCE-BASED CLINICAL DECISION-MAKING, PHARMACOTHERAPEUTIC OPTIMIZATION, ADVERSE DRUG REACTION PREVENTION, AND LONG-TERM PATIENT SAFETY SURVEILLANCE

Nodar Sulashvili
Lali Patsia
Ketevani Gabunia
Diego Rada Fernandez de Jauregui
Maka Buleishvili
Marika Sulashvili
Natia Kvizhinadze
Ada (Adel) Tadevosyan
Marina Giorgobiani
Nana Mdinaradze
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Igor Seniuk
Rajkaran Singh
Tamar Okropiridze
David Aphkhazava

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist, Georgia, Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Scientific Researcher of Yerevan State Medical University After Mk. Heratsi, Yerevan, Republic of Armenia; Former Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577
2. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.
3. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
PhD and BSc in Pharmacy, MSc in Research Methodology in Health Sciences, Professor, Pharmacy Faculty, University of the Basque Country, Spain. https://orcid.org/0000-0002-9109-1088

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473

4. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262

5. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia.

6. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;

7. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227

MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Quality Assurance Department at David Aghmashenebeli National Defence Academy; Invited Lecturer of Department of Human Normal Anatomy at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.

MD, DDM, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Professor of the International School of Medicine at Alte University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;

8. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331

9. Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0000-4903-0145

MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;

10. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT

Pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment represent essential components of contemporary addiction medicine, particularly given the clinical complexity of substance use disorders, the frequent coexistence of psychiatric and somatic comorbidities, and the potential for adverse drug reactions, pharmacokinetic interactions, and treatment-related complications. The pharmacological management of addiction encompasses several therapeutic categories, including opioid agonists and partial agonists, opioid antagonists, medications used in alcohol use disorder, nicotine dependence treatments, and selected agents prescribed to alleviate withdrawal symptoms and associated psychiatric manifestations. Although these interventions can improve treatment retention, reduce substance consumption, prevent relapse, and decrease morbidity and mortality, their clinical effectiveness depends substantially on appropriate prescribing, individualized dose selection, systematic safety surveillance, and continuous therapeutic monitoring. This scientific discourse examines the integrated application of pharmacovigilance principles, clinical pharmacology, evidence-based prescribing, and risk management strategies in the treatment of substance use disorders. Particular attention is directed toward the identification, characterization, prevention, and management of adverse drug reactions, medication errors, contraindications, clinically significant drug–drug interactions, and complications associated with polypharmacy. The assessment emphasizes the importance of evaluating patient-specific characteristics, including age, hepatic and renal function, cardiovascular status, psychiatric comorbidities, pregnancy-related considerations, previous treatment responses, concurrent substance exposure, and adherence patterns. These factors may substantially modify medication tolerability, therapeutic response, and the probability of serious adverse outcomes. Methadone and buprenorphine require careful consideration of respiratory depression, interactions with central nervous system depressants, and other treatment-specific safety concerns. Naltrexone necessitates appropriate assessment of opioid exposure and hepatic status, while medications used in alcohol dependence require individualized evaluation of contraindications, organ function, and concomitant pharmacotherapy. In nicotine dependence, the selection of pharmacological interventions should consider treatment suitability, adverse-effect profiles, and relevant psychiatric or cardiovascular circumstances. Such considerations demonstrate why addiction pharmacotherapy cannot be evaluated exclusively through treatment efficacy; rather, therapeutic benefit must be interpreted alongside patient safety, functional outcomes, and long-term clinical sustainability. The discourse further explores the role of structured medication reconciliation, baseline clinical assessment, laboratory investigations when indicated, electrocardiographic evaluation in selected patients, standardized adverse-event documentation, and longitudinal follow-up. Risk stratification and clinical decision support can facilitate early recognition of preventable complications, improve prescribing appropriateness, and support timely therapeutic adjustments. Particular significance is attributed to the reporting of suspected adverse drug reactions through institutional and national pharmacovigilance systems, which contribute to the detection of emerging safety signals and the refinement of medication risk profiles. The integration of electronic health records, clinical decision-support technologies, and carefully validated artificial intelligence applications may strengthen medication surveillance, although data quality, algorithmic transparency, privacy protection, and clinical oversight remain indispensable. Furthermore, patient-centered risk communication, shared decision-making, medication adherence support, and coordination among physicians, pharmacists, nurses, psychologists, and addiction specialists are examined as complementary components of comprehensive safety management. Nonjudgmental communication is especially important because stigma, fragmented healthcare access, and inconsistent follow-up may discourage patients from disclosing substance exposure, reporting adverse effects, or continuing

treatment. Pharmacists can contribute through medication review, interaction screening, adherence counseling, identification of potentially inappropriate prescribing, and collaboration with other healthcare professionals. These activities should be incorporated into multidisciplinary care pathways that prioritize continuity of treatment, early intervention, and prevention of avoidable harm. The analysis also considers methodological and organizational challenges affecting pharmacovigilance in addiction treatment, including underreporting, incomplete clinical documentation, heterogeneous patient populations, limited representation of complex cases in clinical trials, and difficulties distinguishing medication-related adverse events from complications associated with substance use or withdrawal. Strengthening real-world evidence generation, improving pharmacovigilance literacy, establishing standardized monitoring protocols, and promoting systematic evaluation of benefit–risk relationships are therefore important priorities. Overall, comprehensive pharmacological safety assessment should be understood as a continuous, multidisciplinary, and evidence-informed process extending from initial treatment selection to long-term follow-up. Integrating pharmacovigilance, individualized pharmacotherapeutic optimization, adverse drug reaction prevention, and therapeutic monitoring can support safer prescribing, improve treatment continuity, and enhance clinically meaningful outcomes for individuals receiving addiction treatment. Nevertheless, the proposed framework requires implementation through context-appropriate protocols and evaluation using validated clinical, safety, and patient-reported outcome measures.
Keywords: Pharmacovigilance, Addiction Pharmacotherapy, Medication Safety, Adverse Drug Reactions, Therapeutic Drug Monitoring

INTRODUCTION

Addiction medicine represents a complex and rapidly evolving area of contemporary healthcare in which pharmacological interventions, behavioral therapies, psychosocial support, and long-term clinical follow-up must be integrated to address the multifactorial nature of substance use disorders. The treatment of addiction extends beyond the immediate management of intoxication and withdrawal, encompassing the prevention of relapse, reduction of substance-related morbidity and mortality, restoration of physiological and psychological functioning, improvement of social participation, and promotion of sustained recovery. Within this therapeutic landscape, pharmacotherapy constitutes an essential component of evidence-based clinical practice for several substance use disorders. Nevertheless, the benefits of medication-based treatment depend not only on the selection of an appropriate therapeutic agent but also on the systematic evaluation of its safety profile, pharmacodynamic effects, pharmacokinetic characteristics, potential interactions, contraindications, and long-term tolerability. Consequently, pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment should be considered integral components of addiction treatment rather than secondary activities performed after an adverse event has occurred.

The scientific discourse on pharmacovigilance in addiction medicine requires an interdisciplinary perspective that combines clinical pharmacology, toxicology, psychiatry, internal medicine, pharmacy practice, epidemiology, public health, and healthcare quality management. Individuals receiving addiction treatment may present with multiple interacting clinical conditions, including hepatic impairment, renal dysfunction, cardiovascular disease, respiratory disorders, infectious diseases, chronic pain, sleep disturbances, anxiety, depression, and other psychiatric comorbidities. These conditions can influence medication selection, dosage requirements, therapeutic response, and susceptibility to adverse drug reactions. Furthermore, concurrent exposure to prescribed medicines, nonprescription products, alcohol, illicit substances, and other psychoactive compounds may produce clinically significant interactions or complicate the

interpretation of treatment-related symptoms. The resulting clinical heterogeneity makes individualized prescribing and continuous risk assessment particularly important.

Pharmacovigilance is conventionally concerned with the detection, assessment, understanding, and prevention of adverse effects and other medicine-related problems. In addiction treatment, its practical scope must extend to the identification of medication errors, inappropriate prescribing, clinically significant drug–drug interactions, dosing problems, treatment discontinuation associated with intolerance, and preventable complications arising during transitions between healthcare settings. It should also encompass the evaluation of medication-related risks in patients with complex medical histories and those receiving multiple pharmacological interventions. An effective pharmacovigilance framework therefore requires more than spontaneous adverse-event reporting. It depends on a coordinated system of clinical observation, structured documentation, risk communication, medication reconciliation, laboratory assessment when indicated, and timely therapeutic intervention. This integrated approach allows healthcare professionals to identify emerging safety concerns while maintaining access to treatments that may substantially reduce the harms associated with substance use disorders.

The clinical significance of this subject is reinforced by the fact that addiction pharmacotherapy frequently involves medications with specific safety requirements. Methadone and buprenorphine are established pharmacological options for opioid use disorder, while naltrexone can be used in appropriately selected patients. Medications for alcohol use disorder include naltrexone, acamprosate, and disulfiram, with selection depending on clinical circumstances, treatment objectives, contraindications, and patient preferences. Nicotine dependence can be addressed using nicotine replacement therapy, varenicline, or bupropion, depending on suitability and the individual's clinical profile. These medications differ in their mechanisms of action, metabolism, elimination, therapeutic indications, adverse-effect patterns, and monitoring requirements. A comprehensive safety assessment must therefore be tailored to the characteristics of each medication rather than relying on a uniform monitoring strategy for all addiction-related treatments.

A further challenge arises from the distinction between medication-related adverse events and symptoms associated with intoxication, withdrawal, relapse, or underlying disease. For example, sedation, altered consciousness, nausea, autonomic disturbances, mood changes, and cardiovascular symptoms may have multiple potential explanations in individuals with substance use disorders. Attribution requires a careful assessment of temporal relationships, dose changes, concurrent exposures, clinical findings, previous treatment responses, and alternative diagnoses. Inadequate differentiation may lead to unnecessary medication discontinuation, failure to identify a dangerous interaction, or inappropriate escalation of treatment. Accordingly, pharmacovigilance should be integrated with clinical reasoning and differential diagnosis, supported by accurate documentation and multidisciplinary review.

The central premise of this introduction is that the safety of addiction pharmacotherapy is a dynamic clinical outcome shaped by interactions among the medicinal product, the patient, the treatment environment, and the healthcare system. Effective risk management must therefore combine medication-specific precautions with individualized assessment, continuous therapeutic monitoring, patient engagement, and evidence-based decision-making. Establishing this foundation is essential for evaluating how contemporary pharmacovigilance strategies can improve the quality, safety, and sustainability of addiction treatment.

Clinical and public health significance of pharmacological treatment in addiction medicine

Substance use disorders are clinically significant conditions characterized by patterns of substance consumption associated with impaired control, persistent use despite harmful consequences, and varying degrees of functional impairment. Their development and clinical course reflect interactions among neurobiological processes, psychological characteristics, social circumstances, environmental exposures, and broader structural determinants of health. The therapeutic implications are substantial because addiction can affect multiple organ systems and coexist with chronic medical illness, psychiatric disorders, socioeconomic disadvantage, and barriers to healthcare access. Pharmacological treatment may reduce withdrawal symptoms, diminish craving, stabilize physiological functioning, support abstinence or reduced substance use, and lower the probability of certain substance-related complications. However, these benefits are not uniform across patients or treatment settings, and therapeutic outcomes depend on appropriate clinical indications, continuity of care, adherence, and individualized follow-up.

The concept of treatment success must therefore be defined comprehensively. Abstinence may be an important objective for some patients, whereas others may initially require stabilization, reduced exposure to hazardous substances, prevention of overdose, improved engagement with healthcare services, or management of coexisting disease. Treatment retention, reduction in illicit opioid use, prevention of alcohol-related complications, improvement in psychological functioning, and enhanced quality of life may all represent clinically relevant outcomes. Pharmacovigilance contributes to these objectives by identifying medication-related harms that can undermine treatment continuity or compromise patient safety. When adverse effects are recognized promptly and managed appropriately, clinicians may be able to modify the regimen, address reversible contributing factors, or select a safer alternative without unnecessarily interrupting effective treatment.

In opioid use disorder, medication treatment has particular importance because recurrent opioid exposure can produce substantial risks, including respiratory depression, overdose, and death. Methadone, a full opioid receptor agonist, and buprenorphine, a partial agonist with high affinity for the mu-opioid receptor, are used to support treatment and reduce the harms associated with uncontrolled opioid use. Their pharmacological properties create distinct clinical considerations. Methadone requires attention to accumulation, individual variability in metabolism, interactions with other medicines, and cardiac electrophysiological risk in susceptible patients. Buprenorphine has a comparatively favorable respiratory safety profile under many circumstances, but clinically important respiratory depression can still occur, particularly with concurrent central nervous system depressants or other risk factors. Both treatments require careful induction, appropriate dosing, follow-up, and assessment of concurrent substance exposure.

Naltrexone offers a different pharmacological approach by antagonizing opioid receptors and can be considered for appropriately selected individuals with opioid use disorder after the required opioid-free interval has been established. Failure to assess recent opioid exposure may precipitate severe withdrawal, while inadequate attention to hepatic status and other clinical factors may complicate treatment. The comparison among opioid agonist, partial agonist, and antagonist approaches illustrates a fundamental principle of addiction pharmacotherapy: medications cannot be evaluated solely by their receptor-level mechanisms or general efficacy. Their practical value depends on the alignment of pharmacological characteristics with patient-specific risks, treatment preferences, clinical circumstances, and the capacity of the healthcare service to provide appropriate monitoring.

Alcohol use disorder presents a similarly complex therapeutic context. Naltrexone can reduce alcohol craving or heavy drinking in suitable patients, while acamprosate may support maintenance of abstinence. Disulfiram operates through a different mechanism and requires careful patient selection, counseling, and consideration of its interaction with alcohol. The choice among these treatments depends on therapeutic goals, organ function, coexisting conditions, adherence considerations, and contraindications. Acamprosate requires particular attention to renal function, whereas naltrexone necessitates assessment of hepatic considerations and opioid exposure. Disulfiram requires counseling regarding alcohol avoidance and evaluation of relevant medical and psychiatric risks. A medication safety framework must distinguish these requirements and communicate them clearly to patients and healthcare professionals.

Pharmacotherapy for nicotine dependence also demonstrates the importance of balancing treatment benefits with individualized safety considerations. Nicotine replacement therapy delivers nicotine through formulations designed to support smoking cessation while reducing exposure to harmful combustion products. Varenicline acts as a partial agonist at selected nicotinic acetylcholine receptors, while bupropion influences noradrenergic and dopaminergic neurotransmission. Each intervention has a distinct contraindication and adverse-effect profile. Clinical evaluation should consider relevant medical history, concomitant medication use, previous treatment experience, potential adverse effects, and the patient's willingness to follow the recommended regimen. Monitoring and counseling should be proportionate to the selected treatment and the individual's risk profile.

The broader implication is that addiction treatment involves several distinct pharmacotherapeutic pathways rather than a single uniform category of medication use. A comprehensive pharmacovigilance strategy must therefore combine general safety principles with drug-specific procedures. These include verifying indications, reviewing contraindications, identifying potential interactions, selecting appropriate doses, assessing adherence, and arranging follow-up at clinically meaningful intervals. The strategy should also recognize that treatment effectiveness and medication safety are interdependent: intolerable adverse effects can reduce adherence, while inadequate treatment engagement may expose patients to continuing substance-related risks.

Pharmacovigilance as a fundamental component of clinical pharmacology

Pharmacovigilance provides the scientific and organizational foundation for the systematic evaluation of medicinal product safety throughout the treatment process. Its contemporary scope includes the identification of suspected adverse drug reactions, analysis of safety signals, assessment of medication errors, evaluation of benefit–risk relationships, and implementation of measures designed to prevent avoidable harm. In addiction medicine, these functions are particularly important because treatment frequently occurs over extended periods and involves patients whose clinical conditions, patterns of substance exposure, and concomitant medications may change substantially over time. A safety assessment conducted at treatment initiation may therefore become insufficient if new medicines are introduced, organ function deteriorates, pregnancy occurs, substance use recurs, or the patient's treatment setting changes.

The distinction between an adverse drug reaction and a broader adverse event is important for pharmacovigilance practice. An adverse event describes an unfavorable medical occurrence following exposure to a medicinal product, without necessarily establishing a causal relationship. An adverse drug reaction implies a suspected or established relationship between the medicine and the observed harmful response, interpreted according to the applicable regulatory and clinical definitions. This distinction is essential in addiction treatment because patients may experience symptoms attributable to the underlying substance use disorder, intoxication, withdrawal, infection, psychiatric illness, or another medication. Accurate classification improves the quality

of safety reporting and reduces the likelihood of misleading conclusions concerning medication tolerability.

Spontaneous reporting systems remain an important source of information about suspected adverse drug reactions, particularly when an event is serious, unexpected, or associated with a previously unrecognized interaction. Nevertheless, spontaneous reports are affected by underreporting, incomplete documentation, reporting bias, and the absence of reliable exposure denominators in many circumstances. Consequently, the number of reports alone cannot establish the incidence of an adverse reaction or prove causality. Reports should instead be interpreted alongside clinical trial findings, observational research, pharmacological knowledge, epidemiological evidence, product information, and relevant regulatory assessments. This triangulation is particularly valuable when evaluating uncommon but potentially serious events in populations that may be underrepresented in clinical trials.

The pharmacovigilance process can be understood as a continuous cycle involving detection, documentation, clinical assessment, reporting, signal evaluation, risk characterization, intervention, and subsequent reassessment. At the individual-patient level, this cycle begins when a healthcare professional recognizes a possible medication-related problem. The next steps include documenting the event, reviewing exposure history, assessing severity and seriousness, considering alternative explanations, and determining whether immediate clinical intervention is necessary. Where appropriate, the suspected reaction should be reported through the relevant institutional or national reporting system. At the population level, accumulated reports and complementary data sources may identify recurring patterns that justify further investigation or modifications to prescribing guidance.

In addiction medicine, effective pharmacovigilance should not be limited to severe or life-threatening events. Non-serious adverse effects may also have substantial clinical consequences when they undermine treatment adherence, disrupt sleep, impair daily functioning, or lead to premature discontinuation. Nausea, constipation, dizziness, fatigue, headache, sexual dysfunction, sleep disturbance, and other treatment-related symptoms can influence patients' willingness to continue pharmacotherapy. Their significance depends on the medication, the patient's clinical condition, the duration and severity of symptoms, and the availability of effective management strategies. A patient-centered approach should therefore encourage the reporting of symptoms without automatically assuming that every complaint represents a serious medication reaction.

Another important component is the systematic identification of medication errors. These may involve incorrect prescribing, dispensing errors, administration mistakes, inappropriate dosing intervals, failure to consider contraindications, duplicate therapy, or inadequate communication during transitions of care. In addiction treatment, medication errors may occur during admission to an inpatient facility, discharge from hospital, transfer between treatment providers, initiation of opioid agonist therapy, or changes in supervision and dispensing arrangements. Clear documentation and standardized procedures can reduce discrepancies and help ensure that treatment remains clinically appropriate.

Pharmacovigilance also supports the evaluation of emerging safety signals. A signal is information suggesting a potentially new causal association, or a new aspect of a known association, between a medicinal product and an event that warrants further investigation. Signal detection does not establish causation; rather, it identifies a question requiring structured assessment. In addiction medicine, relevant signals may concern unexpected interactions, changes in the frequency or severity of a known reaction, risks associated with a particular patient subgroup, or safety concerns arising from new patterns of combined substance and medication

exposure. A disciplined approach to signal assessment helps distinguish clinically meaningful findings from coincidental associations and reporting artifacts.

Pharmacokinetic and pharmacodynamic determinants of medication safety

The safety of addiction pharmacotherapy depends substantially on pharmacokinetic and pharmacodynamic processes. Pharmacokinetics describes the absorption, distribution, metabolism, and elimination of a medicine, whereas pharmacodynamics concerns its biological effects and the relationship between drug exposure and response. These processes are interdependent, and variation in either can alter therapeutic outcomes. In clinical practice, a dose that is appropriate for one patient may produce insufficient therapeutic effects or excessive exposure in another. Individual differences in organ function, age, body composition, genetic variation, concomitant treatment, and physiological status can contribute to this variability.

Hepatic metabolism is particularly relevant for several medications used in addiction treatment. Liver disease may alter drug clearance, affect protein binding, change the handling of active metabolites, and increase vulnerability to medicine-related complications. The extent of these effects differs across medications and cannot be inferred solely from the presence of an abnormal liver enzyme result. Clinical assessment should consider the specific medicine, the severity and functional consequences of hepatic disease, available laboratory findings, symptoms of decompensation, and relevant prescribing recommendations. For medicines with recognized hepatic precautions, appropriate baseline assessment and subsequent monitoring may be required according to the individual clinical context.

Renal function is similarly important because some medications or their metabolites depend substantially on renal elimination. Acamprosate, for example, requires assessment of renal function, and its use is restricted or contraindicated in severe renal impairment according to applicable prescribing information. Other medicines may require dose modification or additional caution when renal function is reduced. The choice of renal assessment method should be consistent with the medication's prescribing guidance and the patient's circumstances. A standardized process for reviewing renal function can help prevent inappropriate prescribing, accumulation where relevant, and avoidable adverse effects.

Pharmacodynamic interactions are especially important when addiction medications are combined with other central nervous system depressants. Opioids, benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, and certain other medicines can produce additive effects on consciousness, coordination, and respiratory function. The magnitude of risk depends on the agents involved, their doses, timing, route of administration, individual tolerance, and the patient's respiratory and neurological status. Patients should receive clear counseling regarding potentially dangerous combinations, while clinicians should avoid simplistic assumptions that all combinations have identical risk profiles. Treatment decisions must account for the dangers of both the interaction and the untreated substance use disorder.

Drug metabolism may also be influenced by enzyme inhibition or induction. Medicines that inhibit relevant metabolic pathways can increase exposure to certain coadministered drugs, while enzyme induction can reduce concentrations and potentially diminish therapeutic effectiveness. Conversely, discontinuation of an interacting medicine may alter exposure to a medication whose dose had previously been adjusted around that interaction. These changes can be clinically significant for drugs with narrow safety margins or substantial individual variability. Medication reconciliation should therefore be repeated when new therapies are initiated, existing therapies are discontinued, or major changes in substance use occur.

Cardiac electrophysiological effects require particular consideration in selected patients receiving methadone. Methadone can prolong the QT interval, potentially increasing the risk of

torsades de pointes in susceptible individuals. Relevant factors may include higher exposure, interacting medicines, electrolyte abnormalities, structural heart disease, bradycardia, and a history of arrhythmia. An electrocardiogram is not necessarily required at identical intervals for every patient; rather, assessment should follow clinical risk, applicable guidelines, and local protocols. When risk factors are identified, clinicians may consider correction of reversible contributors, adjustment of interacting medications, closer monitoring, or an alternative treatment where clinically appropriate. These decisions should preserve access to effective opioid use disorder treatment while addressing avoidable cardiac risk.

Genetic variation can influence the metabolism or response to some medicines, but pharmacogenetic testing should be used selectively and only when evidence and clinical guidance support its relevance. The existence of genetic variability does not automatically establish that routine testing improves outcomes for every addiction medication. A scientifically sound approach distinguishes established clinical applications from emerging hypotheses and avoids using genetic results in isolation from the patient's broader clinical presentation. More generally, individualized pharmacotherapy should integrate available biological information with treatment history, clinical examination, observed response, and patient preferences.

Adverse drug reactions, polypharmacy, and medication-related risk

Polypharmacy is a significant consideration in addiction treatment because patients may receive medications for substance use disorders alongside treatments for chronic medical illness, psychiatric conditions, pain, sleep disorders, and other health problems. The number of prescribed medicines is not, by itself, proof of inappropriate treatment. Nevertheless, increasing regimen complexity can elevate the probability of drug interactions, duplicate therapy, administration errors, adherence difficulties, and adverse effects. The central clinical objective is therefore to distinguish appropriate multidrug treatment from avoidable or poorly coordinated prescribing.

Medication reconciliation provides a practical foundation for this distinction. A comprehensive review should include prescribed medicines, nonprescription products, supplements, recently discontinued treatments, and clinically relevant substances used outside medical supervision. Where possible, information should be obtained from more than one reliable source, particularly when records are fragmented or patients have received treatment from multiple providers. The process should identify discrepancies between the medicines a patient is actually taking and those documented in the clinical record. It should also establish whether each medicine has a continuing indication, whether the intended dose is understood, and whether potential interactions require intervention.

The evaluation of adverse drug reactions should incorporate both clinical severity and seriousness. Severity describes the intensity of an event, whereas seriousness is generally determined by outcomes such as death, a life-threatening condition, hospitalization or prolonged hospitalization, persistent or significant disability, or other medically important circumstances under applicable reporting criteria. A symptom may be severe from the patient's perspective without meeting a formal seriousness criterion, while an event that initially appears mild may require urgent attention because of its underlying mechanism or potential progression. These distinctions are relevant for prioritizing clinical action and completing accurate pharmacovigilance documentation.

Causality assessment is another essential component. A temporal association between drug administration and a symptom can support suspicion but does not independently prove that the medicine caused the event. Evaluation should consider the time to onset, dose-response relationships where interpretable, the known pharmacology of the medicine, previous exposure,

improvement after withdrawal when clinically appropriate, recurrence following re-exposure when such information exists, and competing explanations. Deliberate rechallenge should not be undertaken when it would expose the patient to unacceptable risk. Standardized causality assessment tools can support consistency, although their outputs must be interpreted in clinical context and should not replace professional judgment.

In addiction medicine, causal attribution is often complicated by simultaneous changes in medication use and substance exposure. A patient may experience sedation after a dose increase, but alcohol or another sedative may also contribute. Conversely, a medication may be incorrectly blamed for symptoms caused by withdrawal, infection, dehydration, or an unrelated disease. Accurate assessment therefore requires nonjudgmental questioning about recent exposure, careful review of the timeline, physical examination, and targeted investigations when indicated. The aim is to establish the most plausible explanation while ensuring that urgent treatment is not delayed by uncertainty.

Risk management should include strategies for preventing recurrent events. These may involve dose adjustment, modification of administration schedules, correction of electrolyte abnormalities, treatment of a contributing medical condition, discontinuation of an unnecessary interacting medicine, substitution with a safer alternative, or enhanced clinical monitoring. The selected response should be proportional to the nature of the event and the consequences of changing treatment. Unnecessary discontinuation of effective addiction pharmacotherapy may expose patients to relapse, overdose, withdrawal, and loss of continuity of care. Decisions should therefore balance the immediate medication-related concern against the risks associated with treatment interruption.

Individualized clinical evaluation and therapeutic monitoring

A comprehensive initial assessment should establish the patient's diagnosis, treatment objectives, medical history, previous medication exposure, current substance use, allergies, psychiatric status, and relevant social circumstances. It should also identify conditions that may affect medication safety, including respiratory disease, cardiovascular disorders, hepatic or renal impairment, pregnancy, and a history of severe adverse reactions. The depth of assessment should be proportionate to the planned treatment and the patient's clinical risks. Standardized assessment does not mean performing every possible investigation in every patient; it means selecting the investigations and monitoring procedures that are justified by the medication, clinical presentation, and relevant guidelines.

Medication selection should follow a structured evaluation of therapeutic indication, expected benefit, contraindications, alternatives, patient preference, and the feasibility of monitoring. In opioid use disorder, for instance, the choice among methadone, buprenorphine, and naltrexone requires consideration of treatment history, opioid exposure, withdrawal status, concurrent medications, and patient-specific safety factors. A decision based exclusively on one adverse-effect concern may be inappropriate if it disregards the comparative benefits and risks of alternative treatments. Shared decision-making helps patients understand the available options and supports the development of a treatment plan that is clinically appropriate and realistically sustainable.

Baseline assessment should establish relevant clinical parameters before treatment initiation or major therapeutic modification. Depending on the medication and patient, this may include vital signs, weight, physical examination, laboratory investigations, pregnancy assessment where relevant, electrocardiography, and evaluation of concurrent medication use. The rationale for each investigation should be clear. For example, electrocardiographic assessment may be appropriate for selected patients receiving methadone who have risk factors for QT prolongation,

while liver function evaluation may be relevant when prescribing medicines with hepatic precautions. Renal function should be considered when it affects medication eligibility, dosage, or safety. The absence of a universal testing schedule makes individualized protocols essential.

Therapeutic monitoring should be designed around anticipated benefits and recognized risks. Monitoring may include symptom assessment, evaluation of craving and withdrawal, examination for adverse effects, review of medication adherence, and repeat laboratory or instrumental investigations when indicated. It should also assess whether the treatment remains consistent with the patient's goals and whether emerging medical or psychosocial circumstances require modification. Monitoring is not merely a process of checking for toxicity; it is an opportunity to determine whether the overall treatment strategy remains effective, acceptable, and appropriate.

The frequency of follow-up should depend on clinical stability, treatment stage, medication characteristics, and the likelihood of serious complications. More intensive monitoring may be warranted during induction, following significant dose changes, after the introduction of an interacting medicine, or when a patient develops new symptoms. Stable patients may require a less intensive schedule consistent with clinical guidance and local service arrangements. Flexible monitoring can help allocate healthcare resources efficiently without compromising safety. However, reduced visit frequency should not be equated with reduced clinical responsibility, and patients should have clear instructions regarding how to obtain assistance if concerning symptoms occur.

Laboratory monitoring should be targeted rather than indiscriminate. Tests may be used to assess organ function, detect clinically significant electrolyte abnormalities, evaluate a suspected adverse reaction, or monitor a known medication-related risk. Results should be interpreted in relation to baseline values, clinical symptoms, the medication involved, and the expected time course of the potential adverse effect. An isolated laboratory abnormality may not necessarily require treatment discontinuation, while a trend in values may justify intervention before symptoms become apparent. Consistent documentation enables clinicians to distinguish pre-existing abnormalities from changes that emerge during therapy.

The role of therapeutic drug monitoring depends on the medicine and the clinical question. Measurement of drug concentrations can be valuable for selected medications when a validated relationship exists between exposure, efficacy, and toxicity or when results can help clarify adherence, interactions, or altered clearance. However, routine concentration measurement is not established as necessary for every medication used in addiction treatment. Methadone concentrations, for example, must be interpreted cautiously because of substantial individual variability and the absence of a single concentration that reliably defines clinical adequacy for every patient. Clinical response, withdrawal symptoms, sedation, interactions, and other relevant findings remain central to treatment decisions.

Monitoring should also include explicit assessment of treatment discontinuation and loss to follow-up. Patients may stop medication because of adverse effects, stigma, financial barriers, transportation difficulties, inconvenient dispensing arrangements, or dissatisfaction with treatment. If these factors are not identified, a potentially preventable interruption may be misclassified as patient nonadherence. A comprehensive approach examines both clinical and organizational contributors and seeks to address modifiable barriers. The resulting safety strategy is more effective when it supports continued engagement rather than relying exclusively on warnings or restrictions.

Patient-centered risk communication and shared decision-making

Communication is a core determinant of medication safety. Patients need understandable information about the purpose of a medicine, its expected benefits, common adverse effects, warning signs requiring urgent assessment, relevant interactions, and the importance of following the agreed treatment plan. Information should be tailored to the individual's language, health literacy, cognitive status, and circumstances. Technical accuracy is essential, but information that is difficult to understand or impractical to apply may not improve safety. Effective counseling translates pharmacological knowledge into concrete actions that patients can recognize and follow.

A nonjudgmental clinical environment is particularly important in addiction treatment. Fear of discrimination or punitive responses may discourage patients from disclosing substance use, reporting medication errors, or discussing difficulties with adherence. Healthcare professionals should explain that accurate disclosure helps assess interactions and protect health. Questions about alcohol, sedatives, opioids, stimulants, and other substances should be asked respectfully and in a clinically relevant manner. This approach improves the information available for decision-making and supports a therapeutic relationship based on trust.

Risk communication should distinguish between expected adverse effects, uncommon but serious complications, and risks associated with abrupt treatment interruption. Patients should understand that a medicine can have important benefits even when it carries known risks, and that those risks can often be reduced through appropriate selection, monitoring, and timely intervention. Conversely, reassurance should never minimize symptoms that may indicate a serious reaction. Clear instructions should identify whom to contact, which symptoms warrant prompt evaluation, and when emergency medical assistance is necessary.

Shared decision-making requires clinicians to discuss reasonable treatment alternatives and consider the patient's preferences, prior experiences, and practical constraints. For some individuals, the acceptability of a formulation or dispensing arrangement may strongly influence treatment retention. Others may prioritize minimizing sedation, avoiding particular adverse effects, or selecting a regimen compatible with employment and family responsibilities. Such considerations should inform treatment planning without displacing evidence-based clinical judgment. A collaborative approach can improve treatment acceptability and create opportunities to identify safety concerns before they result in discontinuation or clinical deterioration.

Medication adherence should be assessed as a multidimensional behavior rather than a simple indicator of patient cooperation. Missed doses, irregular administration, and premature discontinuation may reflect adverse effects, misunderstanding, unstable living conditions, financial constraints, cognitive difficulties, or inadequate access to healthcare. Interventions should target the identified cause. These may include regimen simplification, written instructions, reminder systems, pharmacist counseling, coordination with community services, or treatment modification. Adherence support should avoid coercive approaches that discourage honest communication or compromise patient autonomy.

The contribution of pharmacists and multidisciplinary healthcare teams

Pharmacists can make a substantial contribution to pharmacovigilance through medication review, interaction screening, identification of contraindications, counseling, adherence assessment, and communication with prescribers. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, dosage forms, medication reconciliation, and medicine-related problems is particularly relevant when patients receive multiple therapies from different healthcare providers.

Pharmacist involvement can support the early recognition of preventable adverse effects and improve the consistency of medication information across treatment settings.

Medication review should evaluate whether each prescribed drug has a valid indication, whether the regimen remains effective, whether the dose and administration instructions are appropriate, and whether interactions or duplications require attention. It should also consider the cumulative burden of adverse effects and the practical complexity of the regimen. Where a potential problem is identified, pharmacists should communicate their findings to the responsible clinician and participate in collaborative decisions within their professional scope. The purpose is not to replace the prescriber but to strengthen medication safety through complementary expertise.

Physicians and addiction specialists contribute diagnostic evaluation, treatment selection, clinical monitoring, and management of complications. Nurses frequently support medication administration, patient education, symptom surveillance, and continuity of care. Psychologists and other behavioral health professionals may help identify treatment-related distress, support adherence, and address psychological factors that affect recovery. Social workers and community-based practitioners can identify barriers involving housing, transportation, financial hardship, and access to services. Effective collaboration depends on clearly defined responsibilities, reliable communication, and timely escalation of safety concerns.

Transitions between healthcare settings are particularly vulnerable points in the medication-use process. A patient discharged from hospital may receive a different medication list from the one used in outpatient addiction treatment. Changes in opioid tolerance, the interruption of a usual regimen, or the introduction of sedative medicines can create new safety risks. Discharge planning should therefore include medication reconciliation, documentation of changes, communication with the receiving provider, and clear follow-up arrangements. Where clinically appropriate, patients should receive understandable instructions concerning their medicines and the management of potential adverse effects.

Institutional protocols can support consistent practice by defining the procedures for medication reconciliation, high-risk prescribing, adverse-event documentation, and escalation of suspected serious reactions. Protocols should be regularly reviewed against current evidence and applicable regulatory requirements. Their effectiveness should be evaluated through meaningful measures, such as completeness of medication records, timely follow-up, identified prescribing discrepancies, adverse-event reporting quality, and treatment continuity. The existence of a written protocol alone does not guarantee safe practice; implementation requires staff training, appropriate resources, and an organizational culture that supports reporting and learning.

Digital pharmacovigilance and emerging technologies

Digital health systems offer opportunities to strengthen medication safety by integrating prescribing information, laboratory results, adverse-event records, and follow-up data. Electronic health records can facilitate medication reconciliation, alert clinicians to selected contraindications, and support continuity across treatment settings. Clinical decision-support systems may identify potentially hazardous combinations or prompt reassessment when relevant laboratory abnormalities are documented. Their effectiveness, however, depends on the accuracy, completeness, and timeliness of the underlying data.

Poorly designed alert systems may generate excessive warnings, contribute to alert fatigue, or encourage inappropriate reliance on automated recommendations. Decision-support tools should therefore prioritize clinically meaningful risks, communicate the rationale for alerts, and allow appropriate clinical interpretation. A warning concerning a potentially life-threatening interaction requires a different level of urgency from a low-priority reminder about routine

follow-up. Regular evaluation of alert performance is necessary to determine whether the system improves clinical decisions or creates additional workflow burdens.

Artificial intelligence may support pharmacovigilance through automated analysis of clinical narratives, identification of patterns in adverse-event reports, and prioritization of cases for further review. Natural language processing can potentially extract information from unstructured documentation, while statistical and machine-learning methods may identify associations that warrant investigation. Nevertheless, such systems can produce false-positive findings, miss clinically important events, reproduce biases in historical data, or misinterpret information when patients have complex and overlapping clinical conditions. Their outputs should be treated as decision-support information rather than definitive evidence of causality.

The use of digital systems in addiction treatment raises additional ethical and governance considerations. Substance use information can be highly sensitive, and inappropriate disclosure may expose patients to stigma, discrimination, or other harms. Data collection and sharing should therefore follow applicable privacy legislation, institutional policies, and principles of data minimization and secure access. Patients should receive appropriate information about how their data are used, and organizations should establish procedures for access control, retention, audit, and incident management. Technological innovation should enhance safety without undermining confidentiality or trust.

Real-world data can complement clinical trials by providing information about medication use in routine practice, including populations with multimorbidity, complex prescribing patterns, and variable adherence. Observational studies may help characterize uncommon outcomes, evaluate treatment persistence, and identify safety concerns that are difficult to assess in randomized trials. However, confounding, selection bias, missing data, and inaccurate exposure classification can limit interpretation. Robust study design, transparent reporting, and appropriate statistical methods are necessary to distinguish credible safety signals from associations arising from differences between treated and untreated populations.

Methodological challenges and priorities for future research

The scientific evaluation of pharmacovigilance in addiction treatment faces several methodological challenges. Clinical populations are heterogeneous, with variation in substance exposure, disease severity, comorbidities, treatment history, and healthcare access. This heterogeneity complicates comparisons across studies and may limit the generalizability of findings. Moreover, patients with severe medical or psychiatric comorbidities may be underrepresented in clinical trials, while individuals experiencing unstable housing or fragmented healthcare access may be difficult to retain in longitudinal research. Consequently, safety evidence from controlled studies should be complemented by carefully designed observational investigations and real-world surveillance.

Underreporting of adverse drug reactions remains a major concern. Healthcare professionals may fail to report suspected events because of time constraints, uncertainty about causality, limited awareness of reporting systems, or the mistaken belief that only confirmed reactions should be submitted. Patients may not recognize a symptom as medication-related or may avoid reporting it because of stigma. Strategies to improve reporting should therefore include accessible reporting procedures, staff education, feedback to reporters, and a supportive institutional culture. Reporting systems should encourage the documentation of clinically relevant suspicions while maintaining appropriate standards for data quality.

A further challenge is the lack of uniformity in outcome definitions. Studies may use different criteria for adverse-event severity, treatment discontinuation, relapse, adherence, or clinical improvement. Inconsistent definitions make it difficult to compare results or combine evidence

across investigations. Standardized outcome measures and transparent reporting frameworks can improve comparability. Researchers should distinguish medication exposure, treatment adherence, adverse-event occurrence, and clinically meaningful outcomes rather than treating them as interchangeable variables.

Future research should prioritize prospective studies of medication safety in populations with multimorbidity, polypharmacy, and complex patterns of substance exposure. Research should examine not only the occurrence of adverse reactions but also their preventability, clinical consequences, management, and effects on treatment retention. Additional priorities include evaluating pharmacist-led interventions, assessing the effectiveness of medication reconciliation, improving the detection of clinically significant interactions, and developing practical risk-stratification approaches. Digital interventions should be evaluated for their effect on patient outcomes, reporting quality, and healthcare workflow rather than on technical performance alone.

Health systems also require implementation research to determine how pharmacovigilance procedures can be integrated into different clinical environments. The resources available in specialist addiction services may differ substantially from those in primary care, emergency departments, community pharmacies, and rural healthcare settings. Effective strategies must therefore be adaptable while maintaining essential safety standards. Research should examine barriers to implementation, workforce training requirements, patient acceptability, cost-effectiveness, and the sustainability of interventions over time.

Rationale and objectives of the scientific investigation

The rationale for examining pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment in addiction treatment arises from the need to integrate medication efficacy with systematic prevention and management of treatment-related harm. Although pharmacotherapy offers important benefits for selected substance use disorders, its clinical value depends on appropriate prescribing, recognition of patient-specific risk factors, prevention of avoidable interactions, and continuity of monitoring. Fragmented medication records, incomplete adverse-event reporting, inconsistent follow-up, and limited coordination among healthcare professionals can weaken these processes. A coherent framework is therefore needed to connect individual clinical decisions with institutional safety procedures and population-level pharmacovigilance.

The principal objective of this scientific investigation is to examine the role of integrated pharmacovigilance in improving the safety and quality of pharmacological interventions used in addiction treatment. The analysis considers medication-specific adverse effects, clinically significant interactions, individualized risk assessment, therapeutic monitoring, and the prevention of medication-related complications. It also explores the contributions of pharmacists and multidisciplinary healthcare teams to medication reconciliation, patient counseling, adverse-event recognition, and continuity of care.

A further objective is to evaluate the practical application of evidence-based risk management strategies across the treatment pathway, from initial assessment and medication selection to ongoing monitoring and treatment modification. Particular attention is given to the identification of clinically relevant risk factors, the appropriate use of laboratory and instrumental investigations, and the interpretation of suspected adverse drug reactions in the presence of competing clinical explanations. The analysis also considers the potential contribution of digital health technologies and real-world evidence to the development of more responsive safety surveillance systems.

The broader objective is to establish a clinically grounded conceptual framework in which pharmacovigilance is treated as a continuous process of risk identification, assessment,

prevention, communication, and reassessment. Such a framework should support individualized pharmacotherapeutic decisions while avoiding unnecessary barriers to effective addiction treatment. It should also recognize that patient safety is influenced by organizational conditions, healthcare accessibility, professional competence, and the quality of communication between patients and providers.

The comprehensive pharmacological safety assessment in addiction medicine requires a balance between reducing medication-related harm and preserving access to effective treatment. This balance cannot be achieved through isolated monitoring procedures or indiscriminate medication restrictions. It requires coordinated clinical judgment, evidence-informed prescribing, appropriate surveillance, meaningful patient participation, and institutional commitment to learning from adverse events. Integrating these elements can strengthen the identification of preventable risks, support safer medication use, and improve the continuity and quality of care for individuals receiving treatment for substance use disorders.

Substance use disorders represent a complex and rapidly evolving global public health challenge characterized by significant morbidity, mortality, social consequences, and healthcare burdens. Pharmacological interventions remain a fundamental component of addiction treatment strategies, including the use of medications for opioid use disorder, alcohol dependence, nicotine dependence, and other substance-related conditions. Although these therapeutic agents provide substantial clinical benefits by reducing cravings, preventing relapse, improving treatment adherence, and supporting long-term recovery, their safety profiles require continuous scientific evaluation. Pharmacovigilance and comprehensive medication safety assessment have therefore become essential components in optimizing addiction pharmacotherapy and ensuring evidence-based clinical practice. This scientific discourse explores the contemporary role of pharmacovigilance systems, safety monitoring approaches, and risk–benefit evaluation frameworks in medications utilized for addiction treatment. The analysis emphasizes the importance of identifying adverse drug reactions, drug interactions, medication-related complications, misuse potential, and long-term safety concerns associated with pharmacological therapies in individuals with substance use disorders. Special attention is given to commonly apply therapeutic agents, including opioid agonist and antagonist therapies, medications for alcohol dependence, nicotine replacement therapies, and emerging pharmacological approaches targeting neurobiological mechanisms of addiction. Modern pharmacovigilance has evolved beyond spontaneous adverse event reporting toward integrated systems incorporating real-world evidence, electronic health records, clinical databases, artificial intelligence-based signal detection, pharmacogenomic information, and patient-centered safety surveillance. These innovative approaches provide opportunities for earlier identification of safety signals, improved prediction of individual treatment responses, and development of personalized addiction medicine strategies. The implementation of advanced safety assessment methodologies is particularly important in addiction treatment due to the complex clinical characteristics of affected populations, including psychiatric comorbidities, polypharmacy, variable treatment adherence, and increased vulnerability to medication-related harms. The scientific evaluation of medication safety in addiction care requires interdisciplinary collaboration among physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, regulatory authorities, and public health specialists. Clinical pharmacists play a critical role in monitoring adverse effects, preventing medication errors, evaluating therapeutic appropriateness, promoting rational prescribing, and improving patient education. Furthermore, regulatory pharmacovigilance frameworks contribute to maintaining the quality, efficacy, and safety standards of addiction medications throughout their lifecycle, from clinical development to post-marketing surveillance. This review emphasize current challenges and future perspectives in pharmacovigilance for addiction treatment,

including underreporting of adverse reactions, limitations of existing surveillance systems, ethical considerations, accessibility of safety data, and the need for international harmonization of monitoring practices. Emerging technologies, including artificial intelligence, machine learning, digital health platforms, and precision pharmacotherapy, are expected to transform medication safety evaluation and enhance individualized approaches to addiction management. The pharmacovigilance represents a cornerstone of modern addiction medicine by ensuring continuous assessment of medication-related risks and benefits. Strengthening global safety monitoring networks, integrating innovative analytical technologies, and promoting evidence-based pharmacotherapeutic strategies are essential for improving treatment outcomes, minimizing preventable harms, and advancing safe, effective, and patient-oriented approaches to addiction care.

Substance use disorders (SUDs) represent one of the most complex and persistent challenges affecting global health systems, with profound medical, psychological, social, and economic consequences. The increasing prevalence of alcohol dependence, opioid use disorder, nicotine dependence, and other forms of addictive disorders has created a substantial demand for effective, safe, and evidence-based therapeutic interventions. Addiction is currently recognized not merely as a behavioral condition but as a chronic, multifactorial neurobiological disease involving complex interactions among genetic susceptibility, environmental influences, psychological factors, and alterations in brain reward, motivation, and stress-regulation pathways. Consequently, modern addiction medicine requires multidisciplinary strategies that integrate pharmacological therapy, psychosocial interventions, preventive approaches, and continuous evaluation of treatment outcomes.

Pharmacological management remains a fundamental component of comprehensive addiction treatment, particularly for reducing substance cravings, preventing withdrawal complications, maintaining abstinence, decreasing relapse risk, and improving quality of life. Over recent decades, significant advances have been achieved in the development and clinical application of medications targeting specific neurobiological mechanisms involved in addiction. Therapeutic agents such as opioid agonists, partial agonists, antagonists, alcohol dependence medications, nicotine replacement products, and emerging pharmacological candidates have substantially improved the effectiveness of addiction care. However, despite their therapeutic advantages, these medications may also present potential safety concerns, including adverse drug reactions (ADRs), drug–drug interactions, medication errors, misuse potential, overdose risks, and complications associated with long-term exposure.

The complexity of addiction pharmacotherapy highlights the critical importance of pharmacovigilance as an essential scientific and clinical discipline dedicated to the detection, assessment, understanding, prevention, and management of medication-related risks. Pharmacovigilance extends beyond traditional adverse event reporting by incorporating systematic evaluation of real-world medication safety, identification of emerging safety signals, assessment of benefit–risk relationships, and implementation of strategies aimed at improving patient protection. In addiction treatment, where patients frequently present with psychiatric comorbidities, cardiovascular disorders, infectious diseases, polypharmacy, and variable adherence patterns, effective pharmacovigilance systems are indispensable for ensuring safe and rational medication use.

Comprehensive safety assessment of pharmacological medications used in addiction treatment requires continuous evaluation throughout the entire drug lifecycle, beginning with preclinical investigations and clinical trials and extending into post-marketing surveillance. Clinical trials provide essential evidence regarding efficacy and common adverse effects; however, they often include carefully selected patient populations and may not fully represent the diversity of

individuals receiving addiction therapies in routine clinical practice. Therefore, post-authorization safety monitoring and real-world evidence generation are crucial for identifying rare, delayed, or population-specific adverse reactions that may emerge after widespread medication utilization.

The advancement of pharmacovigilance has been significantly influenced by technological innovation and methodological development. Contemporary safety assessment increasingly incorporates electronic health records, large healthcare databases, spontaneous reporting systems, artificial intelligence (AI), machine learning algorithms, pharmacogenomic analysis, and digital health technologies. These approaches enable more rapid detection of safety signals, improved prediction of individual susceptibility to adverse outcomes, and more precise evaluation of therapeutic effectiveness in diverse patient populations. The integration of precision medicine principles into addiction pharmacotherapy offers new opportunities to optimize treatment selection, minimize medication-related harm, and improve long-term recovery outcomes.

Risk management represents another essential dimension of medication safety in addiction treatment. Effective risk management strategies involve identification of predictable hazards, development of clinical guidelines, and implementation of monitoring protocols, healthcare professional education, and patient-centered communication. Regulatory authorities, healthcare institutions, clinicians, and pharmacists share responsibility for establishing safe medication-use systems that balance therapeutic benefits with potential risks. Particularly in addiction medicine, where medications may involve controlled substances or influence central nervous system activity, careful monitoring of prescribing practices, adherence, misuse potential, and treatment outcomes is required.

Clinical evaluation and therapeutic monitoring are integral components of safe pharmacological management of addiction disorders. Individualized assessment of treatment response, adverse effects, psychological status, comorbid conditions, and patient-specific risk factors allows clinicians to optimize therapeutic decisions. Therapeutic drug monitoring, when applicable, provides additional support for maintaining appropriate medication exposure and reducing toxicity risks. Furthermore, the active participation of clinical pharmacists contributes significantly to medication safety through comprehensive medication reviews, detection of drug interactions, counseling, adherence support, and collaboration within multidisciplinary addiction care teams.

Despite substantial progress, several challenges continue to limit the effectiveness of pharmacovigilance systems in addiction treatment. Underreporting of adverse drug reactions, insufficient integration of healthcare data sources, limited long-term safety information, variability in regulatory approaches, and disparities in access to pharmacological therapies remain important global concerns. In addition, stigma associated with addiction disorders may negatively influence healthcare engagement, treatment adherence, and reporting of medication-related problems. Addressing these challenges requires international cooperation, standardized safety frameworks, improved healthcare professional training, and patient involvement in pharmacovigilance activities.

The growing complexity of addiction pharmacotherapy emphasizes the necessity of continuous scientific investigation into medication safety, therapeutic effectiveness, and individualized treatment strategies. A comprehensive pharmacovigilance framework provides the foundation for achieving safer pharmacological interventions, improving clinical decision-making, and strengthening public health responses to addiction-related challenges. By integrating clinical pharmacology, regulatory science, evidence-based medicine, and innovative technological approaches, modern safety assessment can contribute to the development of more effective,

accessible, and patient-centered addiction treatment models. Therefore, this scientific discourse aims to critically examine the principles and current developments of pharmacovigilance and comprehensive safety assessment of medications used in addiction treatment, focusing on clinical evaluation, risk management strategies, therapeutic monitoring approaches, emerging technologies, and future perspectives for enhancing the safety and effectiveness of addiction pharmacotherapy.

The evolution of addiction pharmacotherapy has demonstrated that therapeutic effectiveness cannot be evaluated independently from medication safety considerations. The modern concept of treatment success in addiction medicine is increasingly defined by the achievement of optimal clinical outcomes while minimizing preventable medication-related risks. This paradigm shift has expanded the role of pharmacovigilance from a passive system of adverse event collection into an active scientific framework that supports clinical decision-making, regulatory oversight, and continuous improvement of therapeutic strategies. In this context, comprehensive medication safety assessment represents a dynamic process involving pharmacological characterization, clinical observation, epidemiological analysis, and implementation of preventive interventions.

The pharmacological treatment of addiction involves unique safety challenges due to the biological and behavioral characteristics of affected populations. Individuals with substance use disorders frequently demonstrate altered physiological responses, psychiatric instability, impaired decision-making capacity, and increased susceptibility to medication misuse or inappropriate use. Additionally, addiction treatment often requires long-term or maintenance pharmacotherapy, making prolonged exposure monitoring essential. Unlike short-term therapeutic interventions, medications used in addiction care may influence neurological adaptation, behavioral patterns, emotional regulation, and social functioning over extended periods. Therefore, systematic evaluation of long-term safety outcomes is a fundamental requirement for maintaining therapeutic effectiveness and patient protection.

Opioid use disorder provides a particularly important example of the necessity of rigorous pharmacovigilance. Medications such as opioid agonists, partial agonists, and antagonists have significantly reduced mortality and improved treatment retention; however, their pharmacological properties require careful clinical monitoring. Potential concerns include respiratory depression, overdose risk, cardiovascular effects, withdrawal-related complications, and interactions with other central nervous system depressants. Appropriate patient selection, dose optimization, monitoring of treatment adherence, and evaluation of concurrent medication use are essential components of comprehensive risk minimization strategies.

Similarly, pharmacological interventions for alcohol dependence require continuous safety evaluation because many patients present with liver dysfunction, psychiatric comorbidities, nutritional deficiencies, and complex medication regimens. Therapeutic agents used for alcohol-related disorders may require careful assessment of hepatic safety, neurological effects, adherence patterns, and interactions with other medications. The application of pharmacovigilance principles enables clinicians to identify vulnerable patient groups, establish appropriate monitoring schedules, and modify therapeutic approaches according to individual clinical characteristics.

Nicotine dependence treatment also demonstrates the importance of integrated safety assessment. Although nicotine replacement therapies and other pharmacological interventions have contributed significantly to smoking cessation efforts, their effectiveness and safety depend on appropriate patient selection, correct dosing, behavioral support, and monitoring of adverse effects. Evaluation of cardiovascular safety, neuropsychiatric outcomes, and treatment adherence remains an important component of contemporary pharmacovigilance strategies in tobacco cessation programs.

The expansion of personalized medicine has introduced new opportunities for improving medication safety in addiction treatment. Individual variability in pharmacokinetics, pharmacodynamics, genetic factors, metabolic capacity, and treatment response significantly influences therapeutic outcomes. Pharmacogenomic research has identified potential genetic determinants affecting medication metabolism, efficacy, and susceptibility to adverse reactions. Integration of pharmacogenomic information with clinical data may facilitate individualized therapeutic selection, reduce adverse outcomes, and improve the precision of addiction pharmacotherapy.

Furthermore, evidence-based medicine provides an essential methodological foundation for evaluating the safety and effectiveness of addiction medications. Randomized controlled trials, systematic reviews, meta-analyses, observational studies, and real-world evidence contribute complementary information regarding therapeutic benefits and safety limitations. However, translating research findings into clinical practice requires continuous monitoring of medication performance in diverse populations and healthcare environments. Pharmacovigilance bridges this gap by providing real-world insights that complement evidence generated during controlled clinical investigations.

Healthcare professionals involved in addiction treatment must possess advanced knowledge of pharmacological mechanisms, adverse reaction recognition, and safety monitoring principles. Physicians, pharmacists, nurses, psychologists, and other healthcare specialists contribute to multidisciplinary safety networks through active surveillance, patient education, documentation of adverse events, and implementation of preventive measures. Among these professionals, clinical pharmacists have an increasingly important role in optimizing medication therapy management, identifying potential safety issues, and promoting rational pharmacotherapy.

Regulatory frameworks supporting pharmacovigilance continue to evolve in response to emerging therapeutic challenges. National and international regulatory agencies establish guidelines for adverse event reporting, signal detection, risk evaluation, and post-marketing safety studies. Harmonization of pharmacovigilance standards facilitates international collaboration and improves the ability to identify rare or complex medication-related risks. In addiction medicine, where treatment practices and medication accessibility vary significantly between countries, globally coordinated safety systems are particularly valuable.

The integration of artificial intelligence and advanced data analytics represents a transformative development in medication safety assessment. Machine learning algorithms can analyze large-scale clinical datasets, identify complex patterns, predict adverse outcomes, and support early detection of safety concerns. Digital pharmacovigilance platforms, mobile health applications, and automated reporting systems may further enhance patient participation and improve the efficiency of safety monitoring. Nevertheless, responsible implementation requires attention to data quality, ethical considerations, privacy protection, and clinical validation.

A comprehensive approach to pharmacovigilance in addiction treatment must also recognize the importance of patient-centered care. Patients receiving addiction medications should be actively involved in therapeutic monitoring, adverse effect reporting, and shared decision-making processes. Effective communication between healthcare providers and patients improves treatment adherence, increases awareness of potential risks, and strengthens trust in healthcare systems. Reducing stigma and promoting respectful, evidence-based addiction care are essential components of successful medication safety strategies.

The pharmacovigilance and comprehensive safety assessment constitute fundamental pillars of modern addiction pharmacotherapy. The continuous evaluation of medication risks and benefits, combined with advanced monitoring technologies, interdisciplinary collaboration, and individualized treatment approaches, provides a foundation for safer and more effective addiction

management. Future progress in this field will depend on strengthening global surveillance networks, expanding real-world evidence research, integrating precision medicine approaches, and developing innovative strategies that prioritize both therapeutic effectiveness and patient safety.

BACKGROUND

Addiction treatment represents a clinically demanding field of contemporary medicine in which pharmacological efficacy, patient safety, individualized therapeutic planning, and long-term treatment continuity must be evaluated as interconnected dimensions of healthcare quality. Substance use disorders are associated with complex neurobiological adaptations, behavioral changes, psychological distress, social disadvantage, and an increased burden of coexisting medical conditions. Their management frequently requires coordinated interventions involving pharmacotherapy, psychosocial support, behavioral therapies, rehabilitation, and continuing clinical supervision. Within this multidisciplinary framework, medicines may reduce craving, alleviate withdrawal symptoms, support abstinence, decrease hazardous substance consumption, and prevent serious complications. Nevertheless, the therapeutic value of these interventions depends on appropriate medication selection, accurate prescribing, recognition of contraindications, assessment of interactions, and continuous evaluation of treatment-related risks. Pharmacovigilance therefore occupies a central position in the scientific understanding of medication safety in addiction medicine, providing a structured approach to identifying, assessing, understanding, and preventing adverse drug reactions and other medicine-related problems.

The clinical complexity of addiction pharmacotherapy is partly attributable to the heterogeneity of the populations receiving treatment. Patients may differ considerably in age, physiological status, substance exposure, duration of illness, previous treatment experiences, psychiatric comorbidities, organ function, and capacity to adhere to prescribed regimens. Some individuals present with relatively uncomplicated clinical profiles, whereas others require treatment in the context of multiple chronic conditions, recurrent hospital admissions, concurrent psychiatric medication, chronic pain, infectious diseases, or unstable social circumstances. These differences influence both the expected benefits and the potential harms of pharmacological interventions. A treatment regimen that is appropriate for one patient may be unsuitable for another because of differences in metabolism, concomitant medicines, cardiovascular vulnerability, respiratory status, or the likelihood of medication adherence. Consequently, the assessment of medication safety must be individualized and responsive to changes in the patient's condition throughout treatment.

Pharmacovigilance extends beyond the identification of recognized adverse reactions following medication administration. It encompasses the systematic collection and interpretation of safety information, evaluation of suspected causal associations, detection of emerging safety signals, prevention of medication errors, communication of clinically relevant risks, and implementation of measures intended to reduce avoidable harm. In addiction medicine, these responsibilities are particularly important because symptoms associated with medication exposure may overlap with manifestations of intoxication, withdrawal, relapse, psychiatric illness, or underlying physical disease. The differentiation of these clinical processes requires accurate medication histories, careful assessment of temporal relationships, appropriate physical examination, and targeted investigations when indicated. Without such assessment, a medicine may be incorrectly identified as the cause of an event, or a genuine medication-related complication may remain unrecognized.

The scientific foundations of pharmacovigilance are closely associated with the broader principles of clinical pharmacology, toxicology, epidemiology, and evidence-based medicine. Clinical pharmacology contributes knowledge of mechanisms of action, dose-response relationships, pharmacokinetic variability, therapeutic windows, contraindications, and clinically significant interactions. Toxicology provides frameworks for understanding harmful exposures and the mechanisms through which medicines or other substances produce physiological injury. Epidemiological methods support the investigation of adverse-event patterns, comparisons between exposed and unexposed populations, and assessment of possible associations between medication use and clinical outcomes. Evidence-based medicine integrates these sources of information with clinical expertise and patient preferences to support rational prescribing. Their integration is essential because no single information source can fully characterize the safety of a medication across all patients and treatment settings.

A fundamental distinction in this context concerns the difference between an adverse event and an adverse drug reaction. An adverse event is an unfavorable medical occurrence associated temporally with treatment but not necessarily caused by the medicinal product. An adverse drug reaction implies a suspected or established relationship between exposure and the observed harmful response, according to the applicable clinical and regulatory definition. This distinction is particularly relevant for individuals with substance use disorders, whose clinical presentation may be affected by several simultaneous exposures. For example, sedation may occur in association with a prescribed medicine, alcohol, an illicit substance, a respiratory disorder, or a combination of these factors. Nausea, dizziness, agitation, sleep disturbances, and changes in cardiovascular function may similarly have multiple explanations. Pharmacovigilance must therefore preserve the distinction between identifying a possible medication-related problem and establishing its causality.

The identification of a suspected adverse drug reaction does not require absolute certainty before clinical action or appropriate reporting can occur. Instead, the level of suspicion should be evaluated alongside the seriousness of the event, the plausibility of the proposed mechanism, the temporal relationship to medication exposure, the availability of alternative explanations, and the potential consequences of delayed intervention. A serious event may require immediate clinical management even when its precise cause remains uncertain. Conversely, a minor symptom with several plausible explanations may warrant observation, medication review, and reassessment rather than immediate discontinuation of an otherwise beneficial treatment. The appropriate response depends on clinical circumstances, the characteristics of the medication, and the balance between the risks of continued exposure and those associated with treatment modification.

Substance use disorders involving opioids illustrate the importance of this balance. Opioid agonist and partial agonist treatments can reduce uncontrolled opioid use, support treatment retention, and lower the risk of certain serious outcomes. However, these treatments also require attention to medication-specific safety considerations, particularly during induction, dose adjustment, and periods of changing substance exposure. Methadone and buprenorphine have different pharmacological characteristics and cannot be assumed to have identical risk profiles. Their selection and monitoring must account for treatment objectives, previous opioid exposure, concurrent central nervous system depressants, individual clinical vulnerabilities, and the availability of follow-up. The presence of potential medication-related risks should prompt appropriate assessment and management rather than indiscriminate restriction of effective treatment.

The pharmacological management of alcohol use disorder provides another illustration of the need for differentiated safety assessment. Naltrexone, acamprosate, and disulfiram have distinct mechanisms of action, clinical indications, contraindications, and monitoring requirements.

Naltrexone requires consideration of opioid exposure and relevant hepatic factors, acamprosate requires attention to renal function, and disulfiram necessitates appropriate patient selection and counseling regarding alcohol exposure. The suitability of these medications depends on the patient's clinical condition, treatment goals, medical history, and ability to follow the recommended regimen. A comprehensive pharmacovigilance approach must therefore evaluate risks in relation to the specific medicine rather than treating all medications used in addiction treatment as a single pharmacological category.

The management of nicotine dependence also requires individualized evaluation of medication safety. Nicotine replacement therapy, varenicline, and bupropion are pharmacologically distinct interventions with different adverse-effect profiles and prescribing considerations. Treatment selection should take account of previous cessation attempts, concomitant medicines, relevant medical and psychiatric conditions, and patient preferences. Safety monitoring should be proportionate to the clinical risks and the treatment selected. More broadly, these examples demonstrate that pharmacovigilance in addiction medicine must combine common principles of medication safety with specific procedures adapted to the characteristics of individual therapeutic agents.

An additional consideration is the frequent coexistence of substance use disorders with medical and psychiatric comorbidities. Depression, anxiety disorders, sleep disturbances, chronic pain, cardiovascular disease, hepatic impairment, renal dysfunction, and respiratory conditions may influence prescribing decisions and the interpretation of adverse effects. Concurrent treatment of these conditions can introduce additional pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions. Polypharmacy may be clinically necessary, but it can increase regimen complexity and create opportunities for prescribing discrepancies, duplicate treatment, administration errors, and reduced adherence. Medication safety therefore depends on coordinated review of the entire therapeutic regimen rather than isolated evaluation of individual prescriptions.

The quality of the medication history is particularly important in this setting. Incomplete information about prescribed medicines, nonprescription products, supplements, discontinued treatments, and nonmedical substance exposure may prevent clinicians from identifying relevant interactions. Patients may also receive treatment from multiple institutions, resulting in fragmented records and inconsistent medication lists. Medication reconciliation helps address these risks by comparing documented prescriptions with the medicines a patient is actually taking and identifying discrepancies that require clarification. Reconciliation should be performed at clinically important transitions, including treatment initiation, hospital admission, discharge, and transfer between healthcare providers. Repeated review is also appropriate when new medicines are introduced, major dose changes occur, or new symptoms suggest a possible medication-related problem.

Pharmacokinetic variability represents a major determinant of medication exposure and safety. Differences in absorption, distribution, metabolism, and elimination may alter the concentration of a medicine at its site of action and influence both therapeutic response and toxicity. Hepatic and renal function are particularly relevant because impairment may change drug clearance or the handling of active metabolites. The magnitude of the effect varies among medications, and a general diagnosis of liver or kidney disease does not independently determine the appropriate dose for every treatment. Clinical assessment should incorporate the specific medication, the severity of organ dysfunction, relevant laboratory findings, concomitant treatment, and applicable prescribing recommendations. Dose selection should be reassessed when organ function changes or when a new interaction is identified.

Pharmacodynamic interactions are equally important because different substances may produce additive, synergistic, or opposing effects. The combination of opioids with alcohol,

benzodiazepines, sedative-hypnotics, or other central nervous system depressants may increase the risk of sedation and respiratory depression. The magnitude of this risk depends on the agents involved, their doses, timing, individual susceptibility, and concurrent medical conditions. Other interactions may alter cardiovascular function, increase the likelihood of arrhythmias, intensify hypotension, or contribute to neurological complications. The identification of a potentially hazardous combination should lead to an individualized assessment of its clinical necessity, available alternatives, and appropriate risk mitigation measures.

Methadone-associated QT interval prolongation is an example of a medication-specific risk requiring targeted clinical consideration. Prolongation of cardiac repolarization can increase susceptibility to torsades de pointes in predisposed individuals. Risk may be influenced by medication exposure, interacting drugs, electrolyte abnormalities, structural heart disease, bradycardia, and a history of cardiac arrhythmia. Clinical evaluation may include review of risk factors, assessment of relevant laboratory results, and electrocardiographic monitoring when indicated by the patient's presentation and applicable guidance. Correcting reversible contributors and reviewing interacting medicines may reduce risk. Decisions concerning treatment modification should consider the severity of the cardiac concern alongside the benefits of effective opioid use disorder treatment.

The prevention of adverse drug reactions also requires attention to the prescribing process. Inappropriate dosing, insufficient consideration of contraindications, failure to recognize interactions, inadequate monitoring, and unclear administration instructions can contribute to avoidable harm. These problems may arise from individual errors, deficiencies in clinical information systems, inadequate communication, excessive workload, or poorly coordinated care. A safety-oriented system should therefore examine both the clinical decision and the organizational circumstances in which it occurred. Blaming individual practitioners without addressing contributing system factors may discourage reporting and prevent learning from recurring medication-related problems.

Spontaneous adverse-event reporting remains an important element of pharmacovigilance because it can reveal unexpected reactions and generate hypotheses concerning potential safety signals. Nevertheless, spontaneous reports have limitations, including underreporting, incomplete clinical information, stimulated reporting, and the absence of reliable denominators for calculating incidence in many situations. An increase in the number of reports does not necessarily establish an increase in the underlying risk, and a report does not independently demonstrate causation. Signals must be evaluated alongside clinical trials, observational studies, epidemiological findings, pharmacological evidence, and relevant regulatory information. This combined approach supports a more balanced assessment of emerging safety concerns.

The interpretation of real-world safety data is particularly challenging in addiction medicine because medication exposure may coexist with variable patterns of substance use and changing clinical circumstances. Confounding factors may influence both the probability of receiving a medication and the likelihood of experiencing an adverse outcome. For example, patients with more severe illness may receive more intensive pharmacotherapy while also having a higher baseline risk of hospitalization or mortality. Without appropriate analytical methods, an observed association may be incorrectly attributed to the medicine rather than to underlying disease severity or other factors. Well-designed observational research should therefore consider confounding by indication, exposure misclassification, selection bias, missing data, and changes in treatment over time.

Clinical trials remain important for evaluating efficacy and identifying common adverse effects under defined study conditions. However, trial participants may not fully represent the diversity of patients encountered in routine addiction services. Individuals with multiple comorbidities,

unstable housing, concurrent substance exposure, or complex medication regimens may be underrepresented. The duration of follow-up may also be insufficient to identify uncommon or delayed adverse outcomes. Postmarketing surveillance and real-world evidence can complement trial findings by examining medication use in broader populations and identifying potential safety concerns that require further investigation. Neither evidence source should be interpreted in isolation.

The prevention of medication-related harm requires a systematic approach to clinical assessment and monitoring. Before treatment initiation, clinicians should establish the relevant diagnosis, treatment goals, medical history, medication list, allergy status, and risk factors associated with the selected medicine. Laboratory investigations, electrocardiography, and other assessments should be obtained when justified by the medication's characteristics and the patient's clinical circumstances. Monitoring should then be directed toward anticipated therapeutic benefits, recognized adverse effects, and emerging changes in the patient's condition. The purpose is not to perform every available investigation routinely, but to ensure that each monitoring procedure has a clear clinical rationale.

Therapeutic monitoring in addiction treatment should incorporate both medication safety and treatment effectiveness. Relevant parameters may include withdrawal symptoms, craving, substance use patterns, adverse effects, functional status, adherence, and treatment retention. The selection of measures depends on the disorder, the medication, and the patient's goals. Laboratory tests may be appropriate for monitoring organ function or investigating suspected toxicity, while electrocardiography may be indicated for selected cardiac risks. Drug concentration measurements may assist with particular clinical questions, but they are not routinely necessary for every medication used in addiction treatment. Clinical findings and the patient's response remain central to interpreting monitoring results.

The timing of monitoring should reflect the stage of treatment and the patient's risk profile. More intensive assessment may be necessary during medication induction, following a major dose adjustment, after the introduction of an interacting medicine, or when new symptoms appear. Stable patients may require less frequent follow-up when this is consistent with the medication's prescribing guidance and their clinical circumstances. Monitoring schedules should remain flexible enough to respond to new risks while avoiding unnecessary procedures that add burden without meaningful clinical benefit. Clear documentation of the monitoring plan helps maintain continuity and makes responsibilities explicit across healthcare settings.

The assessment of treatment adherence is closely connected with pharmacovigilance because adverse effects and regimen complexity may contribute to missed doses or discontinuation. Patients may also encounter barriers related to transportation, medication cost, stigma, unstable living conditions, limited health literacy, or difficulty accessing healthcare services. These circumstances should not automatically be interpreted as unwillingness to participate in treatment. A comprehensive assessment seeks to identify the reasons for missed doses and determine whether practical support, counseling, regimen simplification, or treatment modification could improve continuity. Addressing these barriers can reduce the likelihood that a preventable interruption will expose the patient to additional substance-related risks.

Patient-centered communication is essential for effective medication safety management. Patients should receive understandable information about the purpose of treatment, expected benefits, common adverse effects, clinically important interactions, and symptoms that require prompt evaluation. Counseling should be adapted to the patient's language, health literacy, and individual circumstances. A nonjudgmental environment encourages honest disclosure of substance exposure and medication use, improving the information available for clinical decisions. Patients should also understand the importance of consulting an appropriate healthcare

professional before making significant changes to prescribed treatment, particularly when abrupt discontinuation could create additional risks.

Shared decision-making supports the integration of clinical evidence with patient preferences and treatment priorities. Some patients may prioritize minimizing sedation or other adverse effects, while others may emphasize convenience, flexibility, or compatibility with employment and family responsibilities. These preferences can influence the acceptability and sustainability of different therapeutic options. Clinicians should discuss reasonable alternatives and explain relevant trade-offs without minimizing important safety concerns. Such communication can improve engagement and create opportunities to identify problems before they lead to premature discontinuation or deterioration in clinical status.

Pharmacists have an important role in the prevention and management of medication-related problems in addiction treatment. Their expertise can support medication reconciliation, interaction screening, review of dosage and administration instructions, identification of duplicate therapy, and patient counseling. Pharmacists may also assist in detecting adverse effects, improving adherence, and communicating relevant concerns to prescribers. Their contribution is particularly valuable when patients receive medicines from several providers or transition between hospital, outpatient, and community settings. Collaborative practice should define professional responsibilities clearly and ensure that clinically important findings reach the appropriate decision-maker.

The contribution of multidisciplinary healthcare teams extends beyond medication review. Physicians and addiction specialists provide diagnostic assessment, treatment selection, and management of clinical complications. Nurses support medication administration, symptom observation, patient education, and continuity of care. Psychologists and behavioral health professionals contribute to the management of psychological factors that influence treatment engagement, while social workers may help address barriers involving housing, transport, financial hardship, and access to services. Effective coordination enables medication-related risks to be considered within the broader context of recovery and long-term health.

Transitions between healthcare settings are particularly vulnerable to medication discrepancies. Hospital admission, discharge, transfer to a residential programme, and movement between outpatient services may involve changes in prescriptions, supervision, and access to clinical records. These transitions can create risks when medication lists are incomplete or changes are not communicated. Structured discharge planning should include medication reconciliation, documentation of treatment modifications, communication with the receiving provider, and arrangements for appropriate follow-up. Particular care is required when changes in tolerance, concurrent medication exposure, or interruptions in treatment may affect the safety of subsequent dosing.

Institutional pharmacovigilance systems should establish clear procedures for recognizing, documenting, and reporting suspected adverse drug reactions. Staff should understand which events require urgent clinical escalation, how relevant information should be recorded, and which reporting pathways are available. Documentation should include the suspected medicine, dose, timing, event characteristics, relevant concomitant exposures, clinical outcome, and management measures when these details are available. Reports should distinguish observed facts from assumptions and should preserve appropriate confidentiality. Feedback to healthcare professionals can reinforce the importance of reporting and improve the quality of future submissions.

An organizational culture that encourages safety reporting is essential because staff may hesitate to report medication errors or suspected adverse reactions if they fear disproportionate blame. A constructive approach treats reports as opportunities to identify contributing factors, improve

procedures, and prevent recurrence. This does not remove professional accountability; rather, it distinguishes intentional misconduct from errors arising within complex systems. Analysis of medication-related incidents should examine prescribing processes, information availability, workload, communication, and the adequacy of clinical protocols. Systematic learning can improve safety more effectively than isolated corrective actions that do not address underlying causes.

Digital health technologies offer opportunities to strengthen pharmacovigilance through integrated medication records, clinical decision-support systems, and automated analysis of safety information. Electronic prescribing may reduce some forms of illegible or incomplete prescribing, while medication alerts can identify selected interactions or contraindications. Electronic health records can support longitudinal review of laboratory results and treatment changes. However, these systems are not inherently reliable in every context. Incomplete records, inaccurate medication lists, poorly calibrated alerts, and excessive warnings can reduce their usefulness. Digital tools should therefore be evaluated according to their effect on clinical decision-making, patient safety, workflow, and treatment continuity.

Artificial intelligence and machine-learning approaches may support the analysis of large safety datasets and the identification of patterns that merit further investigation. Natural language processing can potentially extract information from clinical notes and adverse-event reports, while predictive models may help prioritize patients for additional assessment. Such approaches remain dependent on data quality, appropriate validation, transparent performance evaluation, and clinical oversight. Algorithms may generate false-positive associations, overlook underrepresented populations, or reproduce biases present in historical records. Their findings should be interpreted as signals requiring appropriate review rather than definitive proof that a medicine caused an adverse outcome.

The use of digital information in addiction medicine also raises significant privacy and governance concerns. Substance use histories, psychiatric records, and medication information are sensitive and may expose patients to discrimination if disclosed inappropriately. Data collection and sharing should follow applicable legal and institutional requirements, with appropriate access controls, security measures, and limits on unnecessary information use. Patients should receive suitable information about relevant data practices. Technological innovation should strengthen the quality of pharmacovigilance without compromising confidentiality, autonomy, or trust in healthcare services.

Education and professional development are additional determinants of pharmacovigilance quality. Healthcare professionals require knowledge of adverse drug reaction recognition, causality assessment, interaction mechanisms, medication reconciliation, reporting procedures, and risk communication. Training should be relevant to the professional responsibilities of physicians, pharmacists, nurses, and other members of the care team. Case-based learning can help practitioners distinguish medication-related events from symptoms associated with intoxication, withdrawal, and comorbid disease. Regular review of emerging safety information and prescribing guidance can help maintain professional competence as evidence and clinical practice evolve.

Patients can also be active participants in medication safety. Education should encourage them to report unexpected symptoms, disclose changes in substance use, maintain an accurate medication list, and seek assistance when treatment-related concerns arise. Written information, structured counseling, and follow-up discussions may improve understanding. Patient-reported outcomes can complement clinical observations by documenting symptoms that may not be apparent during routine appointments. However, patient reports should be interpreted

respectfully and assessed clinically rather than dismissed or automatically attributed to a specific medication.

The evaluation of pharmacovigilance interventions requires meaningful outcome measures. Relevant indicators may include the completeness of medication reconciliation, the timeliness of adverse-event reporting, the identification and resolution of prescribing discrepancies, the frequency of preventable medication-related harm, and the continuity of addiction treatment. Patient-centered outcomes may include treatment acceptability, adherence, quality of life, and confidence in medication counseling. Process indicators alone cannot establish that an intervention improves health outcomes, and changes in reporting rates may reflect improved reporting behavior rather than a genuine increase in adverse-event incidence. Evaluation should therefore combine clinical outcomes with carefully interpreted process measures.

Research into medication safety in addiction treatment must address the limitations of existing evidence. Studies may use different definitions of adverse-event severity, treatment retention, adherence, and clinically meaningful improvement, making comparisons difficult. Heterogeneous patient populations, variable follow-up periods, and inconsistent documentation can further limit interpretation. Future investigations should use transparent methods, clearly defined outcomes, appropriate adjustment for confounding, and reporting practices that permit meaningful comparison. Prospective studies may be particularly useful for examining medication-related risks in populations with multimorbidity, polypharmacy, and complex patterns of substance exposure.

Real-world evidence can help clarify how medicines perform in routine clinical practice, but observational associations require careful interpretation. Patients receiving a particular treatment may differ systematically from those receiving an alternative, and these differences may influence the probability of adverse outcomes. Confounding by indication, selection bias, exposure misclassification, and incomplete follow-up can distort apparent relationships. Researchers should therefore use appropriate study designs and analytical methods and should avoid interpreting an observed association as proof of causation without supporting evidence. Triangulation across clinical, epidemiological, pharmacological, and regulatory sources can strengthen the assessment of suspected risks.

Implementation research is also necessary to determine how effective pharmacovigilance procedures can be incorporated into different healthcare settings. Specialist addiction services, primary care practices, community pharmacies, emergency departments, and rural healthcare facilities may have different staffing levels, information systems, and access to diagnostic investigations. Standardized safety principles should be maintained, but implementation strategies may require adaptation to local resources and patient needs. Evaluation should consider feasibility, staff workload, patient acceptability, cost, and sustainability, as well as measurable improvements in medication safety and treatment continuity.

The benefit–risk assessment of addiction pharmacotherapy must remain dynamic because the clinical balance can change over time. A medicine that is appropriate at treatment initiation may require reassessment after the development of a new medical condition, introduction of an interacting medication, change in organ function, or alteration in substance exposure. Conversely, a manageable adverse effect should not automatically result in discontinuation if the treatment provides substantial clinical benefit and the risk can be addressed through reasonable measures. Decisions should be individualized, documented, and reviewed as new information becomes available. This approach recognizes that medication safety is not a fixed characteristic of a drug alone but an outcome shaped by the interaction between the drug, the patient, and the treatment environment.

The integration of pharmacovigilance with evidence-based prescribing therefore requires a coordinated framework encompassing clinical assessment, medication review, adverse-event recognition, therapeutic monitoring, patient communication, professional collaboration, and continuous organizational learning. Such a framework should support the early detection of preventable risks while preserving access to effective treatment for substance use disorders. It should avoid both insufficient surveillance and unnecessarily restrictive practices that may undermine treatment engagement. The objective is to achieve a proportionate and clinically informed balance between medication-related risks and the harms associated with untreated or inadequately treated addiction.

The comprehensive pharmacological safety assessment is a continuous process rather than a single procedure performed before a medicine is prescribed. Its effectiveness depends on the quality of clinical information, the competence of healthcare professionals, the reliability of reporting systems, the involvement of patients, and the capacity of healthcare organizations to respond to emerging concerns. By integrating pharmacovigilance into routine addiction care, healthcare teams can improve the recognition and management of suspected adverse drug reactions, strengthen prescribing decisions, reduce avoidable medication-related problems, and support treatment continuity. This integrated perspective provides a scientific foundation for examining medication safety as a central component of high-quality, patient-centered, and evidence-informed addiction treatment.

GOAL

The primary goal of this scientific discourse is to provide a comprehensive evaluation of pharmacovigilance principles and advanced safety assessment strategies related to pharmacological medications used in addiction treatment. The study aims to analyze current approaches for monitoring adverse drug reactions, evaluating therapeutic risks and benefits, improving medication safety, and strengthening evidence-based clinical decision-making in the management of substance use disorders. The goal is to establish a scientifically grounded understanding of how comprehensive pharmacovigilance and safety assessment systems can contribute to the optimization of addiction pharmacotherapy, ensuring that therapeutic benefits are maximized while medication-related risks are systematically identified and controlled.

METHODOLOGY

This scientific discourse was developed using a comprehensive narrative review methodology aimed at critically evaluating contemporary concepts, clinical approaches, and emerging strategies related to pharmacovigilance and comprehensive safety assessment of pharmacological medications used in addiction treatment. The methodological framework was designed to integrate evidence from clinical pharmacology, addiction medicine, pharmaceutical care, regulatory science, and evidence-based healthcare research.

A structured literature analysis was conducted to identify, evaluate, and synthesize relevant scientific evidence concerning medication safety monitoring, adverse drug reaction assessment, risk management strategies, and therapeutic surveillance in addiction pharmacotherapy. The literature search included peer-reviewed scientific publications, clinical guidelines, pharmacovigilance reports, regulatory documents, systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, observational studies, and real-world evidence investigations.

The information sources analyzed included internationally recognized biomedical databases such as PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. The search strategy incorporated combinations of key terms including *pharmacovigilance*, *drug safety assessment*, *addiction treatment*, *substance use disorders*, *adverse drug reactions*, *medication*

safety, clinical monitoring, risk management, pharmacotherapy, opioid use disorder treatment, alcohol dependence medications, nicotine cessation therapy, and *personalized medicine*. Publications focusing on pharmacological interventions, safety evaluation methodologies, and clinical monitoring practices were prioritized.

The methodological approach included qualitative analysis of scientific evidence regarding currently approved and emerging medications utilized in addiction treatment. Particular attention was given to medications used for opioid dependence, alcohol-related disorders, nicotine dependence, and other addictive conditions. The analysis focused on therapeutic indications, mechanisms of action, clinical effectiveness, safety profiles, adverse reaction patterns, drug–drug interactions, contraindications, monitoring requirements, and risk minimization approaches.

A pharmacovigilance-centered analytical framework was applied to evaluate medication safety throughout different stages of the drug lifecycle, including preclinical development, clinical trials, regulatory approval, post-marketing surveillance, and long-term real-world utilization. Special emphasis was placed on spontaneous adverse event reporting systems, signal detection methodologies, benefit–risk assessment models, and regulatory pharmacovigilance strategies implemented by international healthcare authorities.

The study incorporated principles of evidence-based medicine to assess the reliability and clinical relevance of available information. Evidence was interpreted according to methodological quality, scientific validity, clinical applicability, and consistency of findings across different research designs. Comparative evaluation of available evidence was performed to identify strengths, limitations, and unresolved issues in current approaches to addiction medication safety.

Furthermore, the methodology included assessment of emerging technologies influencing modern pharmacovigilance practices. Current developments in artificial intelligence, machine learning-based safety signal detection, electronic health record analysis, digital pharmacovigilance platforms, pharmacogenomics, and precision medicine approaches were reviewed to determine their potential contribution to improving individualized treatment monitoring and reducing medication-related risks.

The interdisciplinary nature of addiction treatment was considered through evaluation of collaborative healthcare models involving physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, nurses, and public health specialists. The role of healthcare professionals in adverse drug reaction recognition, medication optimization, patient education, adherence improvement, and implementation of preventive safety strategies was analyzed.

The collected evidence was systematically organized into major thematic categories: (1) pharmacovigilance principles in addiction pharmacotherapy; (2) clinical safety evaluation of addiction medications; (3) adverse drug reaction monitoring and reporting systems; (4) risk management and therapeutic optimization strategies; (5) innovative approaches in medication safety surveillance; and (6) future perspectives for personalized and technology-driven addiction treatment.

No primary human or animal experimental investigations were conducted within this study. The methodology was based exclusively on analysis, synthesis, and interpretation of previously published scientific evidence. The overall methodological approach was designed to provide a comprehensive scientific perspective on current challenges, advances, and future directions in pharmacovigilance and medication safety assessment within the field of addiction treatment.

RESULTS AND DISCUSSION

The comprehensive evaluation of pharmacovigilance and pharmacological safety in addiction treatment demonstrates the importance of integrating medication efficacy, individualized clinical assessment, adverse drug reaction prevention, and continuous therapeutic monitoring within a

unified approach to patient care. The central scientific consideration is that the clinical value of addiction pharmacotherapy cannot be determined exclusively by its capacity to reduce substance consumption or alleviate withdrawal symptoms. It must also be evaluated according to treatment retention, tolerability, the prevention of medication-related complications, the quality of clinical follow-up, and the patient's ability to maintain an appropriate therapeutic regimen over time. These dimensions are closely interconnected because medication-related adverse effects may compromise adherence, inadequate monitoring may delay the recognition of complications, and poorly coordinated prescribing may increase the risk of preventable harm. Accordingly, a comprehensive pharmacovigilance framework should address both the safety of individual medicinal products and the clinical systems through which these products are prescribed, dispensed, administered, and monitored.

A major finding of the scientific synthesis is that medication safety in addiction treatment is inherently multidimensional. Pharmacological characteristics establish the potential for therapeutic benefit and harm, but actual clinical outcomes depend on the interaction between these characteristics and patient-specific factors. Age, organ function, concurrent medications, previous treatment exposure, psychiatric comorbidity, cardiovascular vulnerability, respiratory status, and patterns of substance use may substantially modify the risk profile. The same medicine can therefore produce different clinical outcomes in patients receiving apparently similar treatment regimens. This variability supports the need for individualized prescribing and risk stratification rather than the application of identical monitoring procedures to every patient.

The distinction between pharmacological risk and realized clinical harm is particularly important. A medicine may possess a recognized potential to cause an adverse reaction without producing that reaction in every exposed patient. Conversely, a patient may develop a serious complication even when the prescribed dose falls within an accepted therapeutic range. The probability and severity of harm are influenced by multiple variables, including dose, duration of exposure, physiological susceptibility, interactions, adherence, and the timeliness of clinical intervention. Pharmacovigilance should consequently be directed toward identifying conditions under which medication-related risks become clinically significant and determining which preventive measures are most likely to reduce those risks.

The evidence-informed interpretation of pharmacological safety also requires a distinction between established findings and areas of uncertainty. Clinical trials can provide valuable information about treatment efficacy and commonly observed adverse effects, while observational studies and postmarketing surveillance may identify uncommon reactions, long-term outcomes, and problems arising under routine conditions. However, neither evidence source is sufficient in isolation. Randomized trials may exclude patients with complex comorbidities or unstable substance exposure, whereas observational studies may be affected by confounding, selection bias, incomplete records, and inconsistent definitions of outcomes. Spontaneous reports can identify potential safety signals but generally cannot establish incidence or prove causality. A robust scientific assessment therefore requires triangulation across complementary sources of evidence.

The methodological implications are significant for research into addiction pharmacotherapy. Observed differences in adverse-event rates between treatment groups cannot automatically be attributed to the medications themselves. Patients receiving different treatments may differ in illness severity, previous treatment history, concurrent substance exposure, access to healthcare, or underlying medical vulnerability. These characteristics can influence both treatment selection and the probability of experiencing an adverse outcome. The interpretation of safety data must therefore consider confounding by indication, differential follow-up, exposure misclassification,

and competing clinical explanations. Where evidence is incomplete, conclusions should be expressed proportionately to the strength of the available findings.

A central clinical implication is that pharmacovigilance should begin before medication initiation. Baseline assessment provides the information required to identify contraindications, establish relevant clinical parameters, select appropriate treatment, and determine the necessary monitoring plan. This assessment may include medication reconciliation, review of allergies and previous adverse reactions, evaluation of relevant organ function, cardiovascular assessment, psychiatric evaluation, and consideration of concurrent substance exposure. The specific investigations should depend on the selected medication and the patient's clinical circumstances. A targeted approach is preferable to indiscriminate testing because it directs resources toward clinically meaningful risks while avoiding unnecessary procedures that may add burden without improving safety.

Medication reconciliation emerged as an essential preventive measure within this framework. Incomplete medication histories can obscure clinically important interactions, duplicate prescribing, inappropriate dose combinations, and changes introduced by other healthcare providers. These problems are especially relevant when patients move between outpatient addiction services, hospitals, emergency departments, residential programmes, and community pharmacies. A reliable medication record should distinguish current treatment from recently discontinued medicines and include relevant nonprescription products and supplements. It should also document clinically relevant substance exposure when this information can be obtained safely and appropriately. Reconciliation must be treated as an ongoing process because the patient's regimen and clinical circumstances may change throughout treatment.

The findings further support the importance of assessing the entire medication regimen rather than examining each prescription independently. Polypharmacy may be necessary when addiction coexists with chronic medical illness, psychiatric disorders, pain, or other conditions. Nevertheless, multiple medications can increase the complexity of prescribing and create opportunities for pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions. A clinically appropriate regimen should have a clear indication for each medicine, a defensible dose and administration schedule, and a monitoring plan proportionate to the potential risks. Regular review can identify unnecessary duplication, potentially inappropriate combinations, and opportunities to simplify treatment without compromising disease management.

The management of opioid use disorder illustrates how pharmacovigilance can support the preservation of effective treatment while addressing medication-specific risks. Methadone and buprenorphine are established treatment options, but their pharmacological properties differ and require different clinical considerations. Methadone is a full opioid agonist with a long and variable elimination half-life, and accumulation may occur when dosing is increased too rapidly or when metabolism is altered by interacting substances. Buprenorphine is a partial mu-opioid receptor agonist with high receptor affinity and a different pharmacological profile. Its respiratory safety characteristics differ from those of full agonists, but clinically important respiratory depression remains possible, particularly when it is combined with other central nervous system depressants. These differences demonstrate why medication-specific risk assessment is essential.

The safety assessment of methadone should consider the relationship between dose, individual variability, concurrent medication use, and the patient's clinical response. During treatment initiation and dose adjustment, clinicians should assess sedation, respiratory status, withdrawal symptoms, and other indicators of tolerability. The timing and intensity of monitoring should reflect the clinical setting, the patient's opioid tolerance, concurrent substance exposure, and relevant prescribing guidance. A dose that appears insufficient during one phase of treatment

may become excessive if metabolism changes or interacting medicines are introduced. Conversely, excessive caution that results in inadequate treatment may fail to control withdrawal and craving, potentially undermining treatment retention. Appropriate prescribing therefore requires a balance between preventing toxicity and achieving an effective therapeutic response.

Cardiac safety is a particularly important consideration for methadone because of its association with QT interval prolongation and the potential for torsades de pointes in susceptible patients. Risk assessment should consider relevant cardiac history, electrolyte disturbances, concurrent medicines that prolong the QT interval, and other clinical factors that may increase susceptibility. Electrocardiographic monitoring should be guided by individual risk and applicable clinical recommendations rather than performed according to an inflexible schedule without regard to clinical context. Where relevant abnormalities are identified, clinicians may address reversible contributors, review interacting medicines, consider additional monitoring, or evaluate alternative treatment options. These decisions should be individualized because the risks of modifying opioid agonist treatment must also be considered.

Buprenorphine presents a different set of pharmacological considerations. Its partial agonist activity contributes to a ceiling effect on certain opioid effects under many circumstances, but this characteristic should not be interpreted as eliminating the possibility of serious toxicity. Concurrent alcohol, benzodiazepines, sedative-hypnotics, or other central nervous system depressants may increase sedation and respiratory risk. Appropriate patient selection, induction procedures, dose adjustment, counseling, and follow-up remain important. The potential for precipitated withdrawal also requires attention when initiating buprenorphine in patients with recent exposure to full opioid agonists. The timing of initiation should follow appropriate clinical guidance and account for the patient's opioid exposure and withdrawal status.

Naltrexone represents an opioid antagonist approach and requires a different safety framework. In opioid use disorder, initiation without an adequate opioid-free interval can precipitate withdrawal, potentially producing substantial distress and clinical complications. Assessment of recent opioid exposure, treatment history, and readiness for antagonist therapy is therefore essential. Hepatic considerations are also relevant to appropriate prescribing. The suitability of naltrexone should be evaluated in relation to the patient's medical history, clinical status, and therapeutic objectives. These requirements illustrate the broader principle that medicines used for the same disorder may involve substantially different safety procedures because their mechanisms of action and clinical indications differ.

An additional finding is that pharmacovigilance must consider the risks associated with treatment interruption. Discontinuation of effective medication for opioid use disorder may reduce tolerance and increase vulnerability to overdose if opioid use resumes. The clinical consequences of interruption depend on the treatment involved, the duration of the interruption, the patient's circumstances, and the availability of timely follow-up. Therefore, a medication-related safety concern should prompt a structured assessment of whether the problem can be addressed through monitoring, dose adjustment, treatment of a contributing condition, or substitution with an appropriate alternative. Abrupt discontinuation should not be treated as the default response to every suspected adverse reaction.

Risk management must also account for the possibility that patients may not disclose concurrent substance exposure. Stigma, fear of punitive consequences, and previous negative healthcare experiences can discourage accurate reporting. A nonjudgmental approach is therefore important for identifying combinations that may increase toxicity. Clinicians should explain that knowledge of substance exposure is necessary to assess interactions and select appropriate treatment. This approach can improve the completeness of the clinical history and support safer decisions without assuming that all patients have identical patterns of use or exposure.

The pharmacological management of alcohol use disorder further demonstrates the need for medication-specific assessment. Naltrexone may reduce heavy drinking or support drinking-related treatment goals in appropriate patients, while acamprosate may support maintenance of abstinence. Disulfiram operates through a different mechanism and requires careful patient selection, counseling, and consideration of its risks. The choice of therapy should account for treatment objectives, organ function, contraindications, adherence, and patient preference. A pharmacovigilance strategy should avoid treating all three medications as interchangeable because their clinical roles and safety requirements differ.

For naltrexone, assessment should consider hepatic status, relevant product information, concurrent medications, and the possibility of opioid exposure. In patients receiving treatment for alcohol use disorder, unrecognized opioid use can create important treatment-related complications because of the medicine's antagonist activity. Clear documentation and counseling can reduce the risk of inappropriate initiation. Monitoring should be appropriate to the patient's clinical profile and should include evaluation of suspected adverse effects when they arise. The decision to continue or modify treatment should reflect the severity of the clinical concern and the expected therapeutic benefit.

Acamprosate requires particular attention to renal function because its elimination depends substantially on the kidneys. Prescribing should follow the relevant renal restrictions and dosage recommendations. Patients with significant renal impairment may not be suitable candidates for treatment, and renal status should be reassessed when clinically indicated. The medicine's role in supporting abstinence should also be considered alongside adherence, psychosocial support, and the patient's treatment goals. Pharmacovigilance in this context includes prevention of inappropriate prescribing as well as recognition of adverse reactions after treatment begins.

Disulfiram requires a different form of risk management because exposure to alcohol during treatment can provoke an adverse reaction. Patients should receive clear and understandable counseling about alcohol avoidance and the potential consequences of exposure, including alcohol contained in relevant products. Appropriate patient selection and assessment of medical and psychiatric considerations are essential. Counseling should confirm comprehension rather than merely document that information was provided. The treatment plan should also consider whether the patient can realistically follow the required precautions and whether an alternative medication would be more appropriate.

The findings concerning nicotine dependence treatment reinforce the importance of individualized prescribing across different substance use disorders. Nicotine replacement therapy, varenicline, and bupropion differ in mechanism, formulation, contraindications, and adverse-effect profiles. Treatment selection should consider previous cessation attempts, concurrent medication use, relevant medical and psychiatric history, and patient preference. Monitoring should focus on the risks associated with the selected intervention and should be modified when new symptoms or clinical circumstances arise. The general principles of pharmacovigilance remain applicable, but their practical implementation must be adapted to each medication rather than generalized without distinction.

A recurring theme across these treatment categories is the need to distinguish medication-related symptoms from the clinical manifestations of addiction and associated disorders. Withdrawal may produce autonomic, gastrointestinal, neurological, and psychological symptoms that overlap with adverse drug reactions. Intoxication can produce altered consciousness, impaired coordination, respiratory compromise, or cardiovascular abnormalities. Psychiatric comorbidities may contribute to changes in sleep, mood, anxiety, and behavior. Accurate interpretation requires consideration of the timing of symptoms, medication changes, substance exposure, physical findings, and alternative diagnoses. Failure to distinguish these processes can

result in both underrecognition of toxicity and unnecessary discontinuation of beneficial treatment.

Causality assessment should therefore be structured but not mechanical. A temporal relationship between exposure and an event provides relevant information, but it is insufficient on its own to establish that a medicine caused the event. Clinicians should consider the known pharmacology of the medicine, the time to onset, dose changes, concurrent exposures, alternative explanations, clinical course, and the response to appropriate intervention. Improvement after discontinuation may support a suspected association, but interpretation is complicated when several treatments are modified simultaneously or when the underlying condition naturally fluctuates. Rechallenge is not appropriate when it would expose the patient to unacceptable risk. Standardized causality tools may improve consistency, but they cannot replace clinical judgment.

The assessment of adverse events should distinguish severity from seriousness. Severity concerns the intensity of the clinical manifestation, whereas seriousness is defined by outcomes or criteria such as death, a life-threatening event, hospitalization or prolonged hospitalization, persistent or significant disability, or other medically important circumstances under applicable regulatory frameworks. These concepts should not be used interchangeably. A severe symptom may not meet a formal seriousness criterion, while a relatively subtle finding may require urgent evaluation because of its potential consequences. Accurate classification supports appropriate clinical prioritization, reporting, and subsequent safety analysis.

The quality of adverse-event documentation directly affects the usefulness of pharmacovigilance systems. A report should include the suspected medication, dose, route where relevant, timing of exposure, description of the event, relevant medical history, concurrent medicines and substances, management, and clinical outcome when available. Missing information can make causality assessment difficult and limit the value of the report for signal detection. However, uncertainty should not prevent the reporting of a clinically important suspected reaction when reporting criteria are met. Clear documentation should distinguish observed facts from interpretation and should avoid presenting an unconfirmed association as an established causal relationship.

Spontaneous reporting systems remain valuable because they can identify unexpected events and generate hypotheses concerning possible safety signals. Their limitations must nevertheless be recognized. Underreporting means that many suspected reactions are never documented, while publicity or professional attention may temporarily increase reporting independently of any change in actual risk. Reports may lack reliable information about the number of exposed patients, making incidence calculations difficult or impossible. In addition, patients receiving addiction treatment may experience several simultaneous exposures that complicate attribution. These limitations mean that spontaneous reports should be interpreted as an important component of a broader evidence system rather than as definitive proof of medication causality.

Signal detection should be followed by systematic assessment of clinical plausibility, consistency, alternative explanations, seriousness, and the potential implications for prescribing. A signal may justify further investigation without immediately establishing that a regulatory or clinical change is necessary. Relevant evidence may include case series, clinical trial data, observational studies, pharmacological mechanisms, and findings from other reporting systems. The strength of a signal depends on the coherence and reliability of the available information. Transparent communication of uncertainty is essential to prevent premature conclusions that could lead either to unnecessary restrictions or to inadequate responses to genuine risks.

The relationship between adverse-event reporting and clinical incidence requires particular caution. An increase in reported reactions after the introduction of a new reporting initiative may reflect improved awareness rather than a deterioration in medication safety. Conversely, a low

number of reports may indicate underreporting rather than a low rate of harm. Evaluating changes over time requires attention to exposure levels, reporting practices, patient characteristics, and changes in clinical management. Where appropriate data are available, spontaneous reports can be complemented by electronic health records, registries, cohort studies, and other sources that provide more complete information about medication exposure and clinical outcomes.

Polypharmacy emerged as a cross-cutting consideration in the safety assessment of addiction pharmacotherapy. Patients may receive medication for substance use disorders alongside antidepressants, antipsychotics, analgesics, antihypertensive agents, anticoagulants, anticonvulsants, or medicines used to manage chronic medical conditions. The presence of multiple medications does not necessarily indicate inappropriate care, but it increases the importance of reviewing interactions, overlapping adverse effects, and regimen complexity. Particular attention should be given to medicines that affect respiratory function, consciousness, cardiac repolarization, blood pressure, hepatic metabolism, or renal elimination when these effects are relevant to the patient's overall treatment.

Medication review should determine whether each treatment remains indicated and whether its expected benefits justify its risks. Duplicate therapy, unnecessary medicines, unclear prescribing instructions, and combinations with limited clinical justification should be identified for review. The assessment should also consider the cumulative burden of adverse effects, because several individually tolerable medicines may together impair functioning or adherence. Simplification may be beneficial when it can be achieved without compromising treatment of addiction or comorbid disease. Such decisions should be coordinated with the responsible clinicians and should not result in the abrupt withdrawal of medicines where interruption could create additional harm.

The management of drug–drug interactions requires attention to both pharmacokinetic and pharmacodynamic mechanisms. Enzyme inhibition may increase the exposure to a coadministered medicine, whereas enzyme induction may reduce its concentration and potentially diminish effectiveness. The effects can change when an interacting medication is started or stopped. Pharmacodynamic interactions may produce additive sedation, respiratory depression, hypotension, bleeding risk, cardiac effects, or other clinically significant outcomes. The practical relevance of an interaction depends on the specific agents, their doses, timing, patient characteristics, and the clinical indication for each medicine. Interaction screening should therefore support clinical interpretation rather than function as an automatic substitute for decision-making.

Medication reconciliation is especially important during care transitions. Admission to hospital, discharge, transfer between addiction services, and changes in pharmacy or dispensing arrangements may lead to discrepancies between the intended regimen and the medicines actually taken. These discrepancies can result in omitted therapy, duplicate doses, inappropriate continuation of discontinued medicines, or failure to account for a new contraindication. A standardized reconciliation process should identify the most accurate available medication history, document changes, and communicate the updated regimen to the receiving provider. The process should also ensure that patients understand what has changed and why.

Therapeutic monitoring should be organized around clinically meaningful questions. The aim is to determine whether the medication is achieving its intended purpose, whether adverse effects are developing, and whether changes in the patient's condition require modification of treatment. Monitoring may include symptom assessment, physical examination, vital signs, laboratory tests, electrocardiography, or other investigations according to the specific medication and clinical situation. Routine testing without a clear indication can increase costs and create unnecessary

burden, while insufficient monitoring may delay the recognition of serious complications. The optimal strategy is individualized, evidence-informed, and responsive to changes in risk.

Baseline evaluation provides a reference against which subsequent changes can be interpreted. Relevant measures may include hepatic and renal function, electrolyte concentrations, cardiovascular parameters, and other investigations justified by the treatment selected. The absence of a baseline measurement can make it difficult to determine whether a later abnormality preceded medication exposure or developed during treatment. Nevertheless, not every patient requires the same set of investigations, and the absence of an indicated test should not be treated as equivalent to inadequate care. The quality of monitoring depends on the appropriateness of the assessment and the clinician's ability to interpret the results in context.

The frequency of follow-up should reflect the treatment phase, medication properties, patient vulnerability, and the likelihood of clinically important changes. More intensive observation may be appropriate during induction, after substantial dose adjustments, when interacting medicines are introduced, or when symptoms suggest emerging toxicity. Follow-up may be less intensive for clinically stable patients when consistent with prescribing guidance and individual circumstances. Patients should nonetheless receive clear instructions about how to report adverse effects and access clinical assessment if their condition changes. A monitoring plan should specify the intended parameters, timing, responsible professionals, and procedures for responding to abnormal findings.

Laboratory monitoring is most useful when the results can inform a clinical decision. Tests may be required to evaluate organ function, identify electrolyte disturbances, investigate a suspected adverse reaction, or assess a recognized treatment-related risk. Interpretation should consider the patient's baseline status, trends over time, clinical symptoms, and the pharmacological properties of the medication. An isolated abnormal result may require confirmation or investigation rather than immediate treatment discontinuation, while a pattern of progressive change may justify intervention before symptoms emerge. Clinical documentation should record the rationale for testing and the actions taken in response to findings.

Therapeutic drug monitoring has a more selective role. Measurement of drug concentrations can be useful for particular medicines when the relationship between exposure and clinical effect is sufficiently informative or when the result can clarify a specific clinical problem. It may help investigate unexpected toxicity, altered clearance, suspected nonadherence, or a potential interaction in appropriate circumstances. However, concentration measurement is not routinely necessary for every addiction medication, and no single numerical value should automatically replace clinical assessment. Methadone concentrations, for example, vary substantially among individuals, and treatment adequacy must be interpreted in relation to the patient's response, withdrawal symptoms, sedation, concomitant exposure, and other relevant findings.

The relationship between monitoring and treatment adherence is also important. Patients may discontinue medication because of adverse effects, misunderstanding, stigma, inconvenient dosing, financial constraints, or difficulty accessing services. If these factors are not identified, clinicians may incorrectly attribute treatment interruption solely to patient behavior. A comprehensive assessment should explore the practical and clinical reasons for missed doses and determine whether counseling, regimen simplification, additional support, or an alternative treatment could improve continuity. The goal is to maintain an effective and acceptable regimen while minimizing preventable harm.

Patient-centered risk communication is essential to the successful implementation of pharmacovigilance. Patients should understand the expected benefits of treatment, common adverse effects, warning signs that require urgent attention, and the potential consequences of clinically important interactions. Information should be communicated in accessible language

and adapted to the patient's level of health literacy. Counseling should also distinguish symptoms that can be discussed during routine follow-up from those requiring prompt assessment. Clear communication reduces ambiguity and supports appropriate responses when unexpected symptoms occur.

Nonjudgmental communication is especially relevant when discussing concurrent substance exposure. Patients may be reluctant to disclose alcohol, sedative, opioid, or other substance use if they anticipate blame or loss of access to treatment. Such reluctance can compromise the accuracy of medication histories and obscure potentially dangerous interactions. Healthcare professionals should explain that disclosure is important for clinical safety and should approach the conversation with respect and confidentiality. The information obtained should be used to guide appropriate care rather than to make unsupported assumptions about the patient's behavior or motivation.

Shared decision-making can strengthen the acceptability and continuity of pharmacotherapy. Treatment choices should reflect the clinical evidence, the patient's preferences, relevant contraindications, and the practical feasibility of follow-up. Some patients may prioritize a particular formulation, while others may be concerned about sedation, adverse effects, or the effect of treatment on daily activities. Discussing these considerations openly can help identify a suitable regimen and improve adherence. Shared decision-making does not eliminate the need for clinical judgment; it provides a structured way to integrate that judgment with the patient's goals and circumstances.

The role of pharmacists is particularly significant because medication-related problems often emerge at the interface between prescribing, dispensing, and actual use. Pharmacists can support reconciliation, assess interaction risks, review dosage instructions, identify duplicate therapy, counsel patients, and communicate concerns to prescribers. They may also help patients understand adverse effects and recognize situations in which further clinical evaluation is needed. Their contribution is especially valuable when records are fragmented or when a patient receives treatment from several providers. Effective collaboration requires clear communication pathways and appropriate recognition of each professional's responsibilities.

Multidisciplinary coordination extends the scope of safety management beyond medication review. Physicians and addiction specialists evaluate diagnoses, select treatments, and manage complications. Nurses may monitor symptoms, support administration, and reinforce counseling. Mental health professionals can address psychological factors affecting treatment engagement, while social workers and community-based services may help reduce barriers involving transport, housing, or access to care. These contributions are complementary, and their effectiveness depends on reliable information exchange and continuity across the treatment pathway.

Organizational pharmacovigilance should incorporate clear procedures for recognizing and escalating serious medication-related concerns. Healthcare institutions should define reporting responsibilities, documentation requirements, communication pathways, and processes for reviewing incidents. Staff training should emphasize the difference between an adverse event and an adverse drug reaction, the importance of reporting suspected reactions, and the need to preserve clinical uncertainty where causality has not been established. Feedback from incident review can help identify recurring problems and improve local procedures. An effective system should encourage reporting and learning while maintaining appropriate professional accountability.

Digital health technologies may improve medication safety by integrating prescribing records, laboratory results, and clinical observations. Electronic prescribing can support legibility and completeness, while decision-support systems can identify selected contraindications and

interactions. Electronic health records can facilitate longitudinal review and improve communication across settings when information is appropriately shared. However, digital systems can also create risks if records are incomplete, alerts are poorly calibrated, or users become desensitized to excessive warnings. Their implementation should be accompanied by evaluation of data quality, usability, alert relevance, privacy, and measurable clinical benefit.

Artificial intelligence may offer additional opportunities for analyzing large volumes of pharmacovigilance information. Automated text analysis can potentially identify suspected adverse reactions in clinical notes, while predictive models may help prioritize cases for review. Such applications can improve efficiency when appropriately designed and validated, but they may also produce false positives, overlook underrepresented populations, or reproduce biases in historical data. Their performance should be evaluated using clinically relevant measures, and their outputs should remain subject to professional review. An algorithmic association should not be treated as definitive evidence that a medication caused an event.

The governance of digital information is particularly important in addiction medicine because substance use and psychiatric records can be sensitive. Data access should be restricted to appropriate purposes, protected through suitable security measures, and managed according to applicable legal and institutional requirements. Unnecessary disclosure may expose patients to stigma or discrimination and undermine confidence in healthcare services. Patients should receive appropriate information about data use, and institutions should establish clear procedures for confidentiality, access control, retention, and incident response. Technological innovation should improve safety while preserving patient autonomy and trust.

The findings also indicate that education is an important determinant of pharmacovigilance performance. Healthcare professionals require practical knowledge of medication-specific risks, interaction mechanisms, adverse-event recognition, causality assessment, reporting systems, and risk communication. Training should be adapted to the responsibilities of different professional groups and reinforced through continuing education. Case-based learning can improve recognition of complex presentations in which medication toxicity overlaps with withdrawal, intoxication, or comorbid disease. Education should also emphasize that reporting a suspected reaction does not require proof of causality and that accurate documentation is essential for meaningful safety assessment.

Patients can contribute to pharmacovigilance by reporting unexpected symptoms, maintaining an accurate medication list, disclosing clinically relevant substance exposure, and participating in follow-up. Patient-reported outcomes may identify treatment burdens that are not fully captured by laboratory tests or routine clinical examination. These reports should be considered alongside other clinical information and investigated when appropriate. A patient-centered approach recognizes that safety is improved when individuals can raise concerns without fear of dismissal or punitive responses.

The evaluation of pharmacovigilance programmes should combine clinical outcomes with process measures. Potential indicators include the completeness of medication reconciliation, the timeliness of adverse-event documentation, the identification and resolution of prescribing discrepancies, treatment continuity, and the frequency of preventable medication-related complications. Patient-centered measures may include treatment acceptability, understanding of medication instructions, and reported barriers to adherence. Process indicators must be interpreted carefully because increased reporting may reflect improved awareness rather than increased harm. Likewise, a reduction in documented events may reflect underreporting rather than genuine improvement. A credible evaluation should therefore consider the broader context and use multiple complementary measures.

Research into pharmacovigilance in addiction treatment requires standardized definitions and transparent methodology. Differences in how studies define adverse-event severity, treatment discontinuation, adherence, and clinical improvement can limit comparability. Heterogeneous populations, variable follow-up periods, and incomplete records may further weaken conclusions. Future research should use clearly specified outcomes, appropriate analytical methods, and transparent reporting practices. Prospective investigations may help clarify medication-related risks in patients with multimorbidity, complex medication regimens, and changing patterns of substance exposure.

Real-world evidence can complement randomized trials by describing medication use and safety outcomes under routine clinical conditions. However, observational studies must account for confounding, selection bias, missing data, exposure misclassification, and differences in baseline risk. A higher observed rate of an adverse outcome among patients receiving one medicine does not necessarily indicate that the medicine caused the difference. The interpretation should consider why the treatment was selected, whether the groups were comparable, how exposure was measured, and whether alternative explanations remain plausible. Combining findings from several complementary sources can strengthen confidence in the overall assessment.

Implementation research is also needed to determine how pharmacovigilance strategies can be integrated into different healthcare settings. Specialist addiction services, primary care, emergency departments, community pharmacies, and rural facilities may differ in staffing, diagnostic capacity, information systems, and access to follow-up. Core safety principles should remain consistent, but implementation approaches may need adaptation to local circumstances. Evaluation should examine feasibility, cost, professional workload, patient acceptability, and sustainability, as well as the impact on clinically meaningful outcomes.

The benefit–risk relationship of addiction pharmacotherapy can change over time. A medication that is appropriate at treatment initiation may require reassessment after a new medical diagnosis, deterioration in organ function, introduction of an interacting drug, or change in substance exposure. Similarly, an adverse effect that was initially tolerable may become clinically important if it persists or interferes with daily functioning. Conversely, a suspected risk may be manageable through dose adjustment, correction of a contributing factor, or enhanced monitoring without abandoning effective treatment. Regular reassessment allows clinicians to respond proportionately to changes in the patient's condition.

An effective pharmacovigilance framework must therefore avoid two opposing errors: insufficient attention to medication-related harm and excessive restriction of beneficial treatment because of uncontextualized risk concerns. Both can compromise patient outcomes. Insufficient surveillance may delay the recognition of preventable complications, whereas unnecessary treatment interruption may increase exposure to the harms associated with untreated addiction. Clinical decisions should balance these considerations using the best available evidence, the patient's circumstances, and the anticipated consequences of alternative management strategies.

Overall, the results of this scientific synthesis support an integrated approach to pharmacovigilance in addiction treatment, combining individualized prescribing, medication reconciliation, adverse-event recognition, therapeutic monitoring, patient communication, multidisciplinary collaboration, and organizational learning. The strongest conceptual conclusion is that medication safety cannot be achieved through a single intervention or monitoring test. It depends on coordinated processes that identify risks before treatment, detect problems during treatment, respond appropriately when adverse events occur, and use accumulated information to improve future care. This approach can support safer prescribing, strengthen treatment continuity, and improve the quality of pharmacological care for individuals with substance use disorders.

The interpretation of safety outcomes should also consider the relationship between medication tolerability and the patient's broader experience of treatment. A pharmacological intervention may demonstrate efficacy in controlled clinical settings but achieve less favorable results in routine practice when adverse effects, administration requirements, stigma, or access barriers interfere with sustained use. Treatment acceptability is therefore an important consideration when comparing therapeutic options. Patient-reported symptoms, treatment satisfaction, and reasons for discontinuation can provide information that is not fully captured by conventional clinical endpoints. Incorporating these measures into pharmacovigilance can help distinguish pharmacological limitations from potentially modifiable problems associated with treatment delivery.

The prevention of avoidable harm should include attention to the design of prescribing and dispensing procedures. Standardized medication orders, clear documentation of dose changes, verification of patient identity within appropriate clinical systems, and consistent communication between prescribers and pharmacists can reduce opportunities for error. High-risk situations should receive additional scrutiny, including medication initiation, rapid changes in dosing, transitions between settings, and the introduction of interacting medicines. These measures should be integrated into routine workflows rather than implemented only after an incident has occurred. Preventive systems are most useful when they are practical, consistently applied, and evaluated for their effectiveness.

A related consideration is the need to distinguish medication safety from the elimination of all medication-related risk. Complete elimination of risk is rarely achievable in clinical pharmacology, particularly when treating complex disorders with substantial untreated morbidity. The realistic objective is to identify, characterize, communicate, and reduce avoidable risks while preserving clinically meaningful therapeutic benefits. This requires transparent discussion of uncertainty, proportionate monitoring, and willingness to revise treatment when new evidence emerges. A risk-based approach is preferable to indiscriminate restriction because it recognizes differences in patient vulnerability and the relative benefits of available treatments.

The assessment of medication-related risk should also incorporate the potential consequences of untreated or undertreated substance use disorders. In opioid use disorder, interruption of effective treatment may expose patients to recurrent opioid use and overdose risk. In alcohol use disorder, inadequate treatment may contribute to recurrent hazardous consumption and associated medical complications. In nicotine dependence, failure to achieve cessation can prolong exposure to tobacco-related disease risks. These considerations do not justify overlooking adverse reactions; rather, they demonstrate why the consequences of treatment modification must be assessed alongside the potential harms of continued exposure. Clinical decision-making should evaluate the complete range of relevant outcomes rather than focusing on medication toxicity in isolation.

The integration of pharmacovigilance with harm-reduction principles is particularly important when patients experience recurrent substance use during treatment. A return to substance use does not automatically establish pharmacological treatment failure, nor does it necessarily justify discontinuation of treatment. It may indicate a need to reassess the treatment plan, examine adherence barriers, review concurrent psychiatric or medical conditions, and strengthen psychosocial support. At the same time, recurrent use can change the risk associated with prescribed medicines, especially when the substances involved have additive effects on respiratory or neurological function. A clinically responsive system must therefore reassess safety without using relapse as a reason to disengage the patient from care.

The relationship between pharmacovigilance and treatment retention deserves particular attention because retention provides an opportunity for continuing clinical assessment, counseling, and intervention. Patients who remain engaged with appropriate services may have

greater opportunities to discuss adverse effects, receive medication adjustments, and address emerging health concerns. However, retention should not be interpreted as a sufficient indicator of treatment quality by itself. A patient may remain in care while experiencing inadequately managed adverse effects, or may discontinue one medication while continuing to receive effective treatment through an alternative regimen. Evaluation should therefore combine retention measures with safety outcomes, treatment response, and patient-reported experiences.

The assessment of adverse drug reactions should consider their preventability. Some reactions may arise despite appropriate prescribing and monitoring because they are inherent to the pharmacology of a medicine or reflect individual susceptibility. Others may be associated with modifiable factors, including an avoidable interaction, an inappropriate dose, failure to recognize a contraindication, insufficient counseling, or delayed follow-up. Distinguishing these categories can guide preventive strategies and improve the allocation of clinical resources. Preventability assessments should use explicit criteria and adequate documentation, because incomplete information may make it difficult to determine whether an event could reasonably have been avoided.

The prevention of medication errors should not rely exclusively on individual vigilance. Human performance is influenced by workload, interruptions, staffing, information quality, and the design of clinical systems. A prescribing error may arise because a medication list is outdated, an alert is unclear, or a treatment change has not been communicated to the receiving clinician. Effective risk management should therefore combine professional education with system-level safeguards. These may include standardized procedures, structured documentation, targeted decision support, and routine review of recurring incidents. The objective is to make correct practice easier to perform and prevent predictable errors from progressing into patient harm.

Pharmacovigilance also has implications for institutional governance and accountability. Healthcare organizations should define responsibility for safety reporting, establish processes for reviewing significant events, and ensure that relevant findings inform clinical practice. Governance arrangements should support timely responses to serious safety concerns and provide mechanisms for reviewing the effectiveness of corrective actions. Where patterns of prescribing discrepancies or adverse events emerge, institutions should examine whether existing protocols remain appropriate and whether additional training or resources are required. Continuous improvement depends on the ability to translate safety information into practical changes rather than simply documenting incidents.

At the population level, the accumulation of safety data can contribute to improved understanding of medication risks across different patient groups. Registries, cohort studies, and other structured data sources may help evaluate treatment outcomes in populations that are not fully represented in clinical trials. Nevertheless, differences in healthcare access, medication availability, prescribing practices, and documentation quality can affect the comparability of data between settings. Analyses should account for these limitations and avoid assuming that findings from one clinical environment can be transferred without qualification to another. Contextual interpretation is essential for translating research findings into practical recommendations.

The scientific development of pharmacovigilance should also consider health inequalities. Patients experiencing socioeconomic disadvantage may have reduced access to specialist care, inconsistent medication supply, limited transportation, or difficulty obtaining follow-up investigations. These barriers can affect both the probability of experiencing medication-related problems and the likelihood that those problems will be documented. Consequently, apparent differences in adverse-event reporting between populations may reflect differences in access and surveillance as well as genuine differences in clinical risk. Equitable safety systems should

provide accessible reporting pathways, understandable counseling, and appropriate follow-up for patients across different healthcare settings.

The role of community pharmacies in these systems merits further consideration. Community pharmacists may be among the healthcare professionals most accessible to patients receiving long-term pharmacotherapy. Their interactions with patients can provide opportunities to identify adherence difficulties, clarify administration instructions, review newly introduced medicines, and recognize symptoms that warrant further clinical assessment. Where appropriate communication pathways exist, pharmacists can share relevant concerns with prescribers and support continuity of treatment. The extent of these activities depends on local regulations, professional scope, service capacity, and the availability of reliable clinical information. Implementation should therefore be adapted to the relevant healthcare system.

Clinical education should emphasize the importance of interpreting medication information within the patient's overall clinical context. A warning about a potential interaction is useful only when the clinician can determine whether the interaction is relevant to the specific regimen and what action is appropriate. Similarly, an abnormal laboratory result must be interpreted in relation to baseline status, symptoms, medication exposure, and other possible causes. Educational programmes should therefore develop both technical pharmacological knowledge and clinical reasoning. Simulation, case discussion, and structured review of medication-related incidents can help professionals apply theoretical principles to complex clinical presentations.

The development of more effective pharmacovigilance also requires stronger integration between clinical practice and research. Routine clinical observations may generate questions about suspected adverse effects, while research findings may identify risks that require changes to local procedures. Institutions can support this exchange by reviewing relevant evidence, documenting recurring safety concerns, and evaluating the outcomes of practice modifications. Such integration should preserve appropriate ethical standards, privacy protections, and methodological rigor. Observations from individual cases can generate hypotheses, but broader conclusions require corroboration through suitable evidence.

The evaluation of digital pharmacovigilance systems should extend beyond technical accuracy. A system may identify a large number of possible interactions but provide limited clinical benefit if its alerts are poorly prioritized or difficult to interpret. Conversely, a focused system that identifies a smaller number of clinically consequential risks may better support decision-making. Evaluation should examine alert acceptance, clinically appropriate responses, false-positive rates, missed events, user workload, and patient outcomes. The same principles apply to artificial intelligence applications: performance should be assessed in the population and clinical environment in which the system is intended to operate, with ongoing review when data patterns or clinical practices change.

Data governance should be integrated into the development and evaluation of such systems from the outset. Clinical records used for safety analysis should be handled according to appropriate legal, ethical, and institutional requirements. Data quality controls should identify incomplete or inconsistent records, while access restrictions should protect sensitive information. Where algorithms are used to prioritize patients or classify suspected reactions, their performance should be examined for systematic differences across relevant population groups. Transparent governance can help ensure that digital innovation strengthens patient safety without creating new forms of inequity or undermining confidence in healthcare services.

Another important research priority is the investigation of medication safety over longer periods. Short-term clinical studies may identify immediate adverse effects but provide limited information about cumulative exposure, treatment persistence, changes in organ function, or the consequences of repeated treatment interruption. Longitudinal research can help clarify how

safety profiles evolve as patients age, develop additional conditions, or receive new medicines. Such studies require appropriate follow-up, reliable exposure measurement, and methods for accounting for changes in treatment over time. The resulting evidence can inform more responsive monitoring strategies and support better-informed discussions of long-term benefit–risk relationships.

Research should also examine whether pharmacovigilance interventions improve clinically meaningful outcomes rather than merely increasing reporting activity. An educational programme may increase the number of submitted adverse-event reports, but its clinical value depends partly on whether it improves detection, management, and prevention of harmful reactions. A medication reconciliation intervention may identify discrepancies, but further evaluation is needed to determine whether the discrepancies are resolved and whether patient outcomes improve. Similarly, an electronic alert system may increase the frequency of clinician reviews without necessarily reducing adverse events. Evaluation should therefore distinguish process improvement from demonstrated clinical benefit.

The use of standardized terminology and outcome definitions can strengthen this research agenda. Consistent classification of adverse reactions, medication errors, treatment discontinuation, and clinically important outcomes enables more meaningful comparisons across institutions and studies. Standardization should not remove clinically relevant detail, however, because the circumstances surrounding an event may determine its interpretation and preventability. Structured data fields should therefore be complemented by narrative clinical information where appropriate. A combination of standardized classification and sufficiently detailed documentation can improve both analytical reliability and practical usefulness.

The interpretation of safety findings should remain proportionate to the available evidence. A suspected association may justify closer observation or further investigation without immediately requiring a change in treatment recommendations. More substantial evidence may support modification of prescribing procedures, additional monitoring, or a change in the balance of treatment options. Decisions should consider the consistency of findings, the seriousness of the potential outcome, the biological plausibility of the association, and the availability of alternatives. Clear communication of uncertainty is necessary to avoid both unwarranted reassurance and disproportionate concern.

The relationship between medication safety and patient autonomy is another important consideration. Patients should be supported in making informed decisions about treatment, including understanding the reasons for monitoring and the potential consequences of different therapeutic options. Counseling should not rely solely on directives or warnings; it should explain the clinical rationale for recommendations and allow patients to raise concerns. When patients understand the purpose of a safety measure, they may be better able to participate in monitoring and report relevant changes. Respectful communication can therefore support both autonomy and the practical effectiveness of pharmacovigilance.

The findings collectively indicate that pharmacovigilance in addiction treatment should be understood as a continuous process of clinical assessment, risk identification, monitoring, reporting, intervention, and learning. Its effectiveness depends on the integration of pharmacological knowledge with patient-specific information, reliable communication, and organizational support. The approach must recognize differences among medications, avoid unsupported causal conclusions, and account for the risks associated with both medication exposure and inadequately treated addiction. A comprehensive system should be capable of identifying emerging problems while preserving access to effective, individualized care.

The scientific analysis supports the integration of pharmacovigilance into every clinically relevant stage of addiction pharmacotherapy. Appropriate medication selection, accurate

prescribing, medication reconciliation, recognition of adverse drug reactions, individualized monitoring, patient-centered counseling, and multidisciplinary coordination form complementary elements of this process. Digital tools and real-world data may strengthen safety surveillance when they are appropriately validated and governed, while continued professional education and implementation research can support consistent practice. The ultimate objective is not simply to document adverse events, but to transform safety information into clinically appropriate action, reduce preventable harm, preserve treatment continuity, and improve the quality of care for individuals receiving pharmacological treatment for substance use disorders.

Pharmacovigilance in addiction treatment concerns the systematic evaluation of medication safety across the entire therapeutic pathway, from initial diagnostic assessment and treatment selection to dose titration, maintenance therapy, treatment interruption, and long-term follow-up. Safety cannot be adequately characterized by examining an individual prescription or isolated adverse event without considering the sequence of clinical decisions that preceded the event. A medication may be appropriately selected at treatment initiation but become less suitable after changes in renal function, hepatic metabolism, nutritional status, concurrent medication use, or the patient's pattern of substance consumption. Consequently, pharmacovigilance should be understood as a longitudinal clinical process that continuously reassesses the relationship between therapeutic exposure, individual susceptibility, treatment response, and emerging risk.

The temporal dimension of adverse drug reactions is particularly important in addiction pharmacotherapy. Certain reactions occur shortly after treatment initiation or dose escalation, whereas others develop gradually through cumulative exposure, metabolic adaptation, or the interaction of multiple risk factors. Early-onset reactions may include excessive sedation, gastrointestinal intolerance, orthostatic symptoms, allergic manifestations, or acute changes in mental status. Delayed reactions may involve endocrine disturbances, metabolic abnormalities, persistent cognitive complaints, hepatic injury, or complications associated with prolonged polypharmacy. These differences influence the appropriate timing of clinical assessments and laboratory investigations. A monitoring strategy designed exclusively around the first days of treatment may fail to detect delayed toxicity, while infrequent follow-up during initiation may overlook rapidly developing complications. Effective safety surveillance therefore requires a schedule proportionate to the pharmacological properties of the medication, the clinical condition being treated, and the patient's evolving risk profile.

Dose-related toxicity represents another major consideration in the evaluation of medications used for substance use disorders. The relationship between dose and adverse effects is not necessarily linear, and the dose associated.

The interpretation of dose-dependent toxicity in addiction pharmacotherapy requires a comprehensive understanding of pharmacokinetic variability, pharmacodynamic sensitivity, active metabolites, cumulative exposure, and the clinical circumstances in which medications are administered. A prescribed dose that is tolerated by one individual may produce clinically significant toxicity in another because of differences in drug absorption, distribution, metabolism, elimination, receptor sensitivity, and physiological reserve. These differences become particularly consequential when treatment involves opioid agonists, medications with sedative properties, drugs that influence cardiac electrophysiology, or agents whose clearance depends substantially on hepatic enzyme activity. Accordingly, pharmacovigilance should not regard the recommended dose as an absolute guarantee of safety; rather, it should evaluate the dose in relation to the individual patient, the treatment objective, concurrent exposures, and the observed clinical response.

Therapeutic optimization must distinguish between an unnecessarily high dose, an appropriate dose associated with an unpredictable adverse reaction, and an insufficient dose that

compromises treatment effectiveness. These situations require different clinical responses. Excessive exposure may necessitate dose reduction, modification of administration frequency, or substitution with an alternative medicine. An unpredictable reaction may require immediate discontinuation or another intervention depending on its severity, causality, and reversibility. Conversely, inadequate dosing may increase the probability of persistent withdrawal symptoms, craving, recurrent substance use, and disengagement from treatment. In opioid use disorder, for example, undertreatment with an opioid agonist may leave clinically significant symptoms insufficiently controlled, whereas overly rapid escalation or failure to account for concurrent central nervous system depressants may increase the risk of sedation and respiratory compromise. The central pharmacotherapeutic objective is therefore to establish an individualized therapeutic balance rather than simply minimize medication exposure.

This distinction has important implications for the interpretation of medication safety indicators. A low frequency of reported adverse reactions does not necessarily demonstrate optimal prescribing if patients receive inadequate treatment, discontinue medication prematurely, or avoid reporting symptoms. Likewise, a high frequency of adverse-event reports does not automatically indicate inappropriate prescribing, because intensive monitoring, improved reporting systems, or broader access to treatment may increase event detection. Safety indicators should consequently be interpreted alongside measures of therapeutic effectiveness, treatment retention, symptom control, quality of life, and preventable clinical deterioration. An integrated evaluation should examine whether a treatment strategy achieves meaningful clinical benefit at an acceptable level of risk and whether identified harms can be reduced without sacrificing essential therapeutic outcomes.

Individual susceptibility to adverse drug reactions is also shaped by the interaction between substance use patterns and physiological adaptation. Repeated exposure to particular substances can alter receptor responsiveness, metabolic pathways, autonomic regulation, sleep architecture, nutritional status, and the clinical expression of coexisting disorders. When substance consumption decreases or stops, the resulting physiological changes may modify the response to medications that were previously tolerated. A pharmacological regimen that appeared stable during active substance use may therefore require reassessment during withdrawal, early abstinence, or sustained recovery. The clinical significance of these transitions depends on the substance involved, the duration and intensity of exposure, the patient's medical condition, and the pharmacological characteristics of the prescribed treatment.

Cross-tolerance and incomplete cross-tolerance create additional complexity. Tolerance to one substance does not reliably predict the degree of tolerance to another substance, and tolerance to a particular pharmacological effect does not necessarily develop at the same rate as tolerance to other effects. A person who has developed substantial tolerance to the subjective effects of an opioid may remain vulnerable to respiratory depression, particularly when opioids are combined with alcohol, benzodiazepines, or other sedating medicines. Moreover, tolerance may diminish after a period of abstinence or reduced consumption. If a person subsequently returns to a previously tolerated level of substance exposure, the risk of overdose may increase substantially. Pharmacovigilance must therefore incorporate changes in tolerance into clinical risk assessment, discharge planning, relapse-prevention strategies, and patient education.

Medication safety assessment should also recognize the distinction between pharmacological dependence, physiological adaptation, withdrawal phenomena, and a substance use disorder. These concepts are related but are not interchangeable. Physiological dependence may develop during appropriate therapeutic use of certain medicines, and the emergence of withdrawal symptoms following abrupt discontinuation does not, by itself, establish compulsive or harmful

medication use. Conversely, the absence of overt withdrawal symptoms does not exclude problematic use or clinically significant medication-related harm. Accurate differentiation supports appropriate prescribing, prevents stigmatizing interpretations, and reduces the likelihood that necessary treatment will be withheld because physiological adaptation has been incorrectly interpreted as evidence of addiction.

The discontinuation phase deserves the same degree of pharmacovigilance attention as treatment initiation. Abrupt cessation of certain medications can produce rebound symptoms, physiological instability, or clinically significant withdrawal. The magnitude of this risk depends on the medication, dose, duration of treatment, underlying condition, and individual vulnerability. For some therapies, a supervised taper may be appropriate; for others, discontinuation may be immediate when a serious adverse reaction or another urgent clinical indication makes continued exposure unsafe. The decision should be guided by the balance between the risks of continued treatment and those associated with withdrawal or recurrence of the treated disorder. Patients should receive clear instructions about the symptoms that require urgent assessment and the circumstances in which they should contact the prescribing clinician.

The possibility of treatment discontinuation because of adverse effects introduces a further safety consideration. An individual who experiences nausea, dizziness, sleep disturbance, sexual dysfunction, emotional blunting, or persistent fatigue may independently reduce a dose, skip administrations, or stop treatment without informing the clinical team. Such behavior can be interpreted incorrectly as nonadherence when it actually reflects an unresolved tolerability problem. Clinicians should therefore investigate the reasons for interrupted treatment rather than automatically classifying it as patient misconduct. A nonjudgmental discussion can identify whether the difficulty is related to adverse effects, misunderstanding, practical barriers, stigma, cost, treatment expectations, or insufficient therapeutic benefit. The resulting information can support dose adjustment, a change of medication, additional counseling, or a more accessible monitoring arrangement.

The assessment of medication safety also requires attention to the distinction between an adverse drug reaction and a symptom caused by the underlying disorder. Anxiety, insomnia, sweating, gastrointestinal disturbance, tremor, agitation, impaired concentration, and changes in appetite may occur during withdrawal, reflect psychiatric or medical comorbidity, or arise as consequences of a medication. Several mechanisms may coexist in the same patient. Attributing all new symptoms to withdrawal can delay recognition of drug-induced toxicity, while attributing every symptom to medication can lead to unnecessary discontinuation of an effective therapy. A structured clinical assessment should consider symptom onset, dose changes, temporal associations, concurrent substance exposure, objective findings, previous episodes, and the evolution of symptoms after a clinically appropriate intervention.

The use of dechallenge and rechallenge information can sometimes contribute to causality assessment, but such evidence must be interpreted cautiously. Improvement after discontinuation may support a suspected medication relationship, although spontaneous recovery, treatment of another condition, or simultaneous changes in substance exposure may provide alternative explanations. Recurrence after re-exposure may strengthen the causal hypothesis, but deliberate rechallenge is not appropriate when the suspected reaction is severe, potentially fatal, or otherwise associated with unacceptable risk. Clinical safety investigations should prioritize patient welfare over the desire to establish definitive causality. When the available evidence is insufficient, the event should be documented with an explicit degree of uncertainty rather than assigned an unjustifiably certain explanation.

A further priority is the prevention of avoidable harm arising from fragmented prescribing. Individuals receiving addiction treatment may obtain medicines from primary care clinicians,

psychiatrists, emergency departments, hospital specialists, dental practitioners, and community pharmacies. If these professionals do not have access to a sufficiently complete medication history, they may inadvertently prescribe interacting agents, duplicate therapy, or medicines that require additional precautions. Fragmentation is especially problematic when treatment transitions occur rapidly, when patients move between healthcare institutions, or when acute illnesses necessitate short-term prescriptions. Medication reconciliation should therefore be undertaken at clinically important transitions and should include prescribed medicines, nonprescription products, supplements, recently discontinued agents, and relevant substance exposures.

A comprehensive medication history should distinguish between the medication list recorded in the clinical system and the medicines the patient actually takes. Prescriptions may remain active in electronic records after discontinuation, while medications obtained outside the usual healthcare pathway may be omitted entirely. Patients may also use medicines intermittently, alter administration schedules, or share incomplete information because of concerns about judgment or legal consequences. The clinician should establish the actual pattern of use through respectful, specific questioning and, where appropriate and lawful, corroboration with pharmacy dispensing records or other clinical documentation. Discrepancies should be treated as opportunities to improve safety rather than as automatic evidence of intentional deception.

The clinical relevance of medication reconciliation extends beyond identifying drug–drug interactions. It can reveal duplicate ingredients in combination products, inappropriate dosing intervals, conflicting instructions, medicines prescribed for conditions that are no longer present, and potentially hazardous use of sedating agents. It can also identify omissions in which a clinically necessary treatment has been unintentionally interrupted. In addiction medicine, an omitted maintenance medication may contribute to withdrawal, destabilization, or treatment disengagement, while the unrecognized continuation of a discontinued sedative may increase toxicity risk. Reconciliation should therefore evaluate both excessive exposure and unintended underexposure.

Medication-related harm may also arise from errors in communication rather than from the pharmacological properties of a drug itself. Verbal instructions may be misunderstood, discharge documentation may omit important changes, and medication names or strengths may be confused when products have similar packaging or terminology. These risks are particularly significant when patients receive several medicines with different administration schedules or when care is delivered across multiple institutions. Standardized medication lists, explicit documentation of dose changes, clear explanations of discontinued therapies, and confirmation of patient understanding can reduce these preventable failures. Where communication occurs across languages, the use of professional interpretation and translated instructions may be necessary to ensure that the intended regimen is understood accurately.

The safe use of long-acting formulations introduces distinct operational considerations. Such formulations may improve treatment continuity for selected patients by reducing the frequency of administration and limiting the need for daily medication management. However, their prolonged pharmacological activity can complicate the management of adverse reactions because exposure may persist after the decision to discontinue treatment. Appropriate patient selection, informed consent, correct administration technique, reliable follow-up, and clear arrangements for managing missed appointments are therefore essential. The potential benefits of reduced dosing frequency should be balanced against the consequences of delayed recognition of toxicity, difficulties reversing exposure, and the need for continuity between the administering service and other healthcare professionals.

Long-acting injectable treatments also require careful documentation of the product, dose, administration date, injection site when clinically relevant, and planned follow-up. Incomplete records can lead to duplicate administration or uncertainty about whether a dose has been given. Systems should provide clear mechanisms for communicating treatment status when a patient presents to an emergency department or transfers to another healthcare facility. If an adverse reaction is suspected, clinicians need sufficiently precise information to evaluate the relationship between the event and the administration schedule. Such documentation is an essential component of medication traceability and supports both individual patient management and broader pharmacovigilance analysis.

The pharmacological management of alcohol use disorder illustrates the need to consider treatment selection, organ function, psychiatric comorbidity, and patient goals simultaneously. Different medications have distinct mechanisms, contraindications, tolerability profiles, and evidence bases. Selection should reflect the clinical context rather than a universal assumption that one agent is appropriate for all patients. For example, hepatic status may influence the suitability of particular therapies, while renal impairment may affect the use or dosing of others. Current alcohol consumption, the possibility of concurrent opioid use, previous treatment experience, and the patient's willingness to follow a particular administration schedule may also influence the safety and feasibility of treatment. The presence of multiple clinical considerations makes individualized assessment essential.

Pharmacovigilance in alcohol use disorder must further distinguish the risks associated with medication exposure from those associated with alcohol consumption itself. Alcohol can contribute to falls, gastrointestinal complications, cardiovascular instability, liver injury, sleep disruption, cognitive impairment, and injuries. It may also alter the safety profile of concurrently administered medicines. If these outcomes are recorded without adequate contextual information, alcohol-related complications may be misclassified as adverse drug reactions, or genuine medication-related contributions may be overlooked. Clinical records should therefore document the timing and approximate pattern of alcohol exposure when relevant, the medications taken, the onset of symptoms, and other plausible explanations for the event.

The management of alcohol withdrawal requires particularly careful separation from long-term relapse-prevention pharmacotherapy. Withdrawal can involve autonomic hyperactivity, agitation, tremor, seizures, and delirium, with severity varying according to the patient's history and clinical condition. Treatment decisions should be guided by an appropriate assessment of withdrawal risk, medical stability, and the need for supervised care. Medicines used to control withdrawal may themselves cause sedation, respiratory depression, impaired coordination, or other adverse effects, particularly when combined with alcohol or other central nervous system depressants. The clinical objective is not simply to suppress symptoms but to provide adequately monitored treatment that reduces the risk of serious complications while addressing coexisting medical and psychiatric conditions.

In opioid use disorder, the comparative evaluation of agonist and antagonist treatment strategies should incorporate both pharmacological efficacy and the practical consequences of treatment delivery. Methadone and buprenorphine have established roles in opioid agonist treatment, while extended-release naltrexone is an option for appropriately selected patients who have completed the necessary opioid-free interval. These approaches differ in their initiation requirements, receptor pharmacology, adverse-effect profiles, risks during induction, and implications for treatment continuity. A pharmacovigilance framework should assess whether the selected strategy is clinically appropriate, whether the initiation process has been completed safely, and whether the patient can access continued treatment without unnecessary interruption.

The induction phase of opioid agonist treatment requires particular attention to the relationship between recent opioid exposure, withdrawal status, dose selection, and individual sensitivity. Buprenorphine can precipitate withdrawal when initiated under inappropriate circumstances in a person with relevant levels of full opioid agonist activity. Methadone has a long and variable elimination half-life, and its effects may accumulate during repeated administration even when early subjective effects appear insufficient. These differences make the timing and pace of initiation clinically important. Monitoring should assess withdrawal symptoms, sedation, respiratory status when indicated, concurrent medication use, and evidence of unexpected deterioration. Protocols should be individualized within evidence-based clinical guidance rather than applied mechanically without regard to the patient's presentation.

The risk of precipitated withdrawal also demonstrates why patients require accurate and comprehensible explanations of treatment initiation. If the rationale for timing is poorly communicated, a patient may interpret the required waiting period as an unnecessary barrier and abandon treatment. Clear counseling should explain the purpose of the induction plan, the symptoms that require clinical attention, and the available options if the initial approach proves difficult. For patients who have previously experienced severe withdrawal, anticipatory support and an individualized initiation strategy may be particularly important. The pharmacovigilance objective includes preventing avoidable distress and treatment failure, not merely documenting severe physiological events after they occur.

The use of buprenorphine in the presence of other sedating substances requires a nuanced risk assessment. Its pharmacological properties can confer a different respiratory safety profile from that of full opioid agonists, but this does not eliminate the possibility of serious toxicity, particularly in the context of benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, or other respiratory depressants. A categorical approach that assumes either complete safety or inevitable harm is inconsistent with individualized clinical assessment. Where opioid use disorder is present, withholding effective medication solely because a patient also uses sedatives may expose the patient to substantial risks associated with untreated opioid use disorder. Instead, the clinical team should evaluate the specific pattern of exposure, optimize treatment, address concurrent sedative use, provide overdose-prevention interventions, and establish appropriate monitoring.

The safety of methadone treatment also requires consideration of cardiac electrophysiology, drug interactions, and individual risk factors. Methadone can prolong the QT interval in susceptible individuals, potentially increasing the risk of torsades de pointes and other clinically significant arrhythmias. The risk is influenced by factors such as dose, electrolyte abnormalities, underlying cardiac disease, and concurrent medicines that affect cardiac repolarization or methadone metabolism. Clinical assessment should identify patients for whom electrocardiographic evaluation is indicated and should correct modifiable contributors where possible. An abnormal result should be interpreted in context, with decisions informed by the degree of prolongation, symptoms, coexisting risk factors, and the consequences of changing treatment. Abrupt or poorly coordinated discontinuation can itself create harm, so cardiac risk management should be systematic and clinically proportionate.

The evaluation of QT prolongation should also account for measurement uncertainty and transient physiological influences. Electrocardiographic results can vary with heart rate, recording conditions, and the correction formula used. Electrolyte disturbances, acute illness, and multiple interacting medicines may alter risk over time. A single measurement should not always be interpreted as a complete representation of the patient's long-term cardiac status. Where clinically appropriate, repeat assessment and correction of reversible factors may clarify the significance of an abnormal result. Documentation should distinguish the observed

electrocardiographic finding from the inferred risk and should identify the reasoning behind any medication modification.

Medication interactions involving cytochrome P450 enzymes can alter exposure to several treatments used in addiction medicine. Enzyme inhibition may increase concentrations of susceptible medicines, whereas enzyme induction may reduce concentrations and compromise effectiveness. Importantly, the clinical consequences of an interaction depend on the specific drug, the strength and duration of the metabolic effect, the presence of active metabolites, and the patient's underlying physiology. When an interacting medicine is started or stopped, the effect may not appear immediately, particularly when enzyme induction or inhibition persists beyond the period of administration. A medication review should therefore consider not only the current list of medicines but also recent changes and the expected time course of their effects.

The introduction of antimicrobial therapy provides one example of a clinical situation in which interaction risk may change rapidly. A patient receiving stable addiction pharmacotherapy may require treatment for an acute infection, and the selected antimicrobial may affect the metabolism of the maintenance medication or independently influence cardiac electrophysiology. The prescribing clinician should evaluate the necessity of the antimicrobial, available alternatives, the severity of the infection, and the potential interaction with existing treatment. If the interacting combination is clinically necessary, an appropriate monitoring and follow-up plan may reduce the risk of destabilization or toxicity. Such cases illustrate why medication safety cannot be managed exclusively within a single specialty.

The same principle applies to psychiatric medicines, including antidepressants, antipsychotics, mood stabilizers, and medications used to treat anxiety or insomnia. Psychiatric comorbidity is common among people receiving addiction treatment, and appropriate treatment may improve functioning, engagement, and long-term outcomes. However, the combination of several psychotropic agents can increase the burden of sedation, orthostatic hypotension, metabolic effects, cardiac risk, or other adverse reactions. The presence of addiction should not lead to the automatic exclusion of otherwise indicated psychiatric treatment. Instead, clinicians should define the therapeutic target for each medicine, evaluate the evidence supporting its use, identify overlapping adverse-effect profiles, and periodically reassess whether the combined regimen remains necessary and tolerable.

The prevention of medication-related harm in patients with co-occurring depression or anxiety requires particular sensitivity to the distinction between symptom improvement, adverse effects, and emerging clinical deterioration. Sleep changes, agitation, reduced concentration, emotional instability, and changes in energy may reflect the underlying psychiatric disorder, substance withdrawal, medication effects, or combinations of these factors. Monitoring should therefore be linked to the patient's baseline presentation and the expected time course of the treatment. If symptoms worsen after initiation or dose adjustment, the clinical team should evaluate the potential contribution of the medicine while also considering changes in substance use, psychosocial stressors, and other medical explanations.

The use of benzodiazepines in individuals with substance use disorders requires a carefully documented rationale and a clear plan for monitoring, duration, and discontinuation where relevant. These medicines may be indicated in selected clinical situations, including supervised management of alcohol withdrawal, but prolonged or poorly coordinated use can introduce risks involving sedation, impaired psychomotor performance, falls, physiological dependence, and potentially dangerous interactions with opioids or alcohol. Risk mitigation should be proportionate to the clinical indication and should avoid simplistic assumptions that every patient with a substance use disorder has the same level of vulnerability. When continued

benzodiazepine treatment is necessary, the clinical team should define its purpose, assess ongoing benefit, review alternative approaches where appropriate, and ensure that any dose reduction is managed safely.

The safety evaluation of gabapentinoids, including gabapentin and pregabalin, provides another example of the need to assess medication exposure within the broader clinical context. These medicines have legitimate indications, but their potential to contribute to sedation, dizziness, impaired coordination, and respiratory complications when combined with opioids or other central nervous system depressants warrants attention. Their use should be supported by a clearly defined indication, an appropriate assessment of renal function, and periodic review of therapeutic benefit. Clinicians should distinguish between treatment intended to address a specific neurological or psychiatric condition and prescribing that continues without a demonstrable clinical objective. When misuse risk or problematic co-administration is suspected, the appropriate response is a structured clinical assessment and individualized risk reduction rather than an automatic assumption that the medication is unnecessary.

The management of stimulant use disorder raises different pharmacovigilance questions because the available pharmacological approaches, evidence base, and regulatory status of interventions differ from those associated with opioid or alcohol use disorder. Where medications are prescribed for co-occurring conditions or used within a specialist treatment strategy, safety assessment should address cardiovascular status, blood pressure, heart rate, sleep, appetite, mood, and potential interactions with other psychoactive substances. The possibility of concurrent stimulant exposure may complicate interpretation of tachycardia, agitation, anxiety, insomnia, or chest discomfort. These symptoms should not be attributed reflexively to either prescribed medication or illicit substance use without examining the clinical presentation, exposure history, and relevant investigations.

Prescribing psychostimulants to individuals with co-occurring attention-deficit/hyperactivity disorder and substance use disorder illustrates the importance of individualized assessment and the avoidance of categorical clinical assumptions. In appropriately selected patients, treatment may improve the symptoms of the co-occurring disorder, while insufficiently supervised prescribing may introduce risks related to misuse, diversion, sleep disruption, cardiovascular effects, or psychiatric destabilization. A robust approach should establish the diagnosis, assess treatment goals, select a formulation appropriate to the clinical circumstances, and determine the frequency of follow-up according to the individual's risk profile. When concerns arise, clinicians should consider the totality of the evidence rather than relying on a single behavioral indicator or an isolated urine drug test.

The interpretation of toxicological testing requires particular caution in pharmacovigilance investigations. Immunoassay screening methods may produce false-positive or false-negative results, and the detection window varies according to the substance, assay, specimen, timing, and individual physiological characteristics. Some prescribed medicines or their metabolites may cross-react with screening assays, while certain synthetic or semisynthetic substances may not be reliably detected by routine panels. A positive result therefore does not necessarily establish the exact substance consumed, the quantity taken, the timing of exposure, or the presence of clinical impairment. When the result has substantial consequences for treatment decisions, confirmatory testing and clinical interpretation may be necessary. Testing should be used to improve care and clarify exposure, not as a substitute for a comprehensive assessment or as an automatic justification for discontinuing treatment.

Biological monitoring also has limitations when used to assess adherence. The absence of a detectable medication in a specimen may reflect timing, assay sensitivity, metabolism, sample characteristics, or an incomplete testing panel rather than deliberate nonadherence. Conversely,

detection of a medicine or metabolite does not prove that the prescribed regimen has been followed consistently or that the medication has produced the expected therapeutic effect. Clinicians should interpret laboratory findings alongside the medication history, dispensing information, clinical response, and the patient's account. A transparent explanation of the purpose and limitations of testing can strengthen trust and reduce the risk of punitive decisions based on uncertain evidence.

The pharmacovigilance implications of polysubstance exposure extend beyond conventional drug–drug interactions. Alcohol, opioids, sedatives, stimulants, cannabis, and other psychoactive substances may exert overlapping, opposing, or sequential effects on physiological systems. Their combined effects can be difficult to predict because the timing, potency, composition, and quantity of nonprescribed substances may be uncertain. An individual may also consume a substance after taking a prescribed medicine without recognizing that the combination creates additional risk. Clinical risk communication should therefore use concrete examples and explain the mechanisms relevant to the particular treatment regimen. General warnings are less useful when patients cannot identify which combinations are most concerning or what actions to take if exposure has already occurred.

Overdose prevention should be incorporated into pharmacovigilance as a proactive clinical intervention rather than treated solely as a response to an emergency. People receiving opioid treatment should be offered appropriate education about overdose recognition, emergency response, reduced tolerance following abstinence, and the role of naloxone where indicated. Education should also address the dangers of combining opioids with alcohol or sedatives and the importance of avoiding the assumption that a previously tolerated dose remains safe after a period of reduced consumption. These discussions should be repeated at clinically relevant intervals, particularly after treatment interruption, hospitalization, changes in medication, or a return to substance use following abstinence.

The provision of naloxone illustrates the distinction between preventing harm and changing the underlying pharmacological treatment strategy. Naloxone can reverse opioid-mediated respiratory depression, but its effect may be shorter than that of the opioid involved in an overdose. Recurrent toxicity may therefore occur after an initial response, and emergency medical assessment remains important. Patients and people likely to witness an overdose should receive clear instructions on recognizing respiratory compromise, administering naloxone according to product guidance, seeking emergency assistance, and providing further support as appropriate. Pharmacovigilance programs should evaluate not only whether naloxone is prescribed or dispensed but also whether recipients understand its use and can access it when needed.

The quality of overdose-related data can be improved by documenting the circumstances surrounding the event, including prescribed medications, known or suspected co-exposures, recent treatment interruption, and the availability of emergency interventions. However, uncertainty should be explicitly recorded when the substance involved or the precise sequence of events cannot be established. In fatal and nonfatal overdoses alike, incomplete information may lead to erroneous attribution to a single drug when several substances or clinical factors contributed. Multidisciplinary review can help identify preventable prescribing problems, failures of care coordination, gaps in patient education, or barriers to timely access to treatment.

The clinical management of overdose survivors presents a further opportunity for pharmacovigilance intervention. Following stabilization, the care team should assess whether the event was associated with an unintended dosing error, a harmful interaction, reduced tolerance, intentional self-harm, an unpredictable substance composition, or another mechanism. These explanations are not mutually exclusive, and the assessment should avoid assuming a single

cause before sufficient information is available. The event should prompt a review of ongoing treatment needs, overdose-prevention measures, access to medication for substance use disorder, and the availability of psychosocial support. Discharging a patient without addressing the factors that contributed to the event may leave preventable risks unchanged.

Another important issue is the relationship between pain management and addiction pharmacotherapy. Acute pain, chronic pain, surgery, trauma, and palliative care may require additional analgesic treatment in individuals receiving medication for opioid use disorder. Inadequate pain management can itself cause substantial harm, while inappropriate prescribing may increase the risk of sedation, overdose, or destabilization of recovery. The optimal approach depends on the clinical indication, the current maintenance medication, the severity of pain, previous treatment experience, and the expected duration of analgesia. Coordination between addiction specialists, surgeons, anesthesiologists, pain clinicians, pharmacists, and primary care providers can reduce contradictory instructions and prevent unintended treatment interruption.

The presence of opioid use disorder should not be interpreted as evidence that a patient's pain is exaggerated or that analgesia is unnecessary. Pain should be assessed using appropriate clinical methods, and treatment decisions should be based on the patient's condition and the available evidence. At the same time, clinicians should consider opioid tolerance, potential interactions, respiratory vulnerability, and the need for continuity of maintenance treatment. Where additional opioid analgesia is clinically indicated, its use should be accompanied by an explicit plan for dosing, monitoring, reassessment, and coordination after discharge. Pharmacovigilance can help identify whether adverse outcomes arise from the analgesic itself, interactions with existing medicines, gaps in monitoring, or fragmentation of care.

Transitions between inpatient and outpatient treatment are especially vulnerable periods for medication-related errors. Hospitalization may introduce new medicines, alter existing doses, interrupt access to maintenance therapy, or create uncertainty about which clinician is responsible for subsequent prescribing. Discharge instructions may contain conflicting medication lists, and community providers may not receive information about temporary treatments or relevant adverse events. A structured transition process should reconcile the medication regimen, document the reason for each major change, communicate pending investigations, and identify the professional responsible for follow-up. For patients at elevated risk of overdose or withdrawal, arrangements should be made to minimize avoidable gaps in treatment.

The management of hepatic impairment is central to the safety assessment of several medications used in addiction treatment. Liver dysfunction can alter drug metabolism, protein binding, and the clearance of active compounds, while the clinical manifestations of hepatic disease may overlap with symptoms attributed to medication toxicity. Fatigue, nausea, pruritus, jaundice, abdominal discomfort, and changes in mental status require interpretation in relation to the underlying condition and the medicines involved. Baseline assessment and follow-up investigations should be selected according to the medication, the patient's history, and the clinical indication. Abnormal laboratory findings should be interpreted in conjunction with the overall pattern of results, symptom development, and possible alternative causes.

Hepatotoxicity investigations should distinguish between biochemical abnormalities, clinically apparent liver injury, and severe hepatic dysfunction. A mild isolated elevation in a liver enzyme does not necessarily indicate that a medication must be stopped immediately, whereas a concerning pattern accompanied by symptoms, impaired synthetic function, or progressive deterioration may require urgent evaluation. The suspected medication, timing of exposure, competing causes, and the trajectory of laboratory findings all contribute to the assessment. Alcohol exposure, viral hepatitis, metabolic liver disease, and other medications may coexist and complicate causal interpretation. A standardized approach to documentation can improve the

consistency of clinical decisions and reduce both unnecessary discontinuation and delayed recognition of serious injury.

Renal impairment similarly influences medication safety through altered elimination, changes in fluid and electrolyte balance, and the increased prevalence of comorbid conditions requiring additional medicines. Some treatments or metabolites may accumulate when renal clearance is reduced, increasing the probability of adverse effects. Assessment should therefore consider whether the prescribed regimen remains appropriate when renal function changes and whether an acute illness may temporarily alter drug handling. Particular attention may be needed when dehydration, infection, or other physiological stressors occur. The medication plan should be reviewed after clinically significant changes rather than relying indefinitely on an earlier assessment.

Electrolyte disturbances deserve attention because they may contribute to arrhythmia risk, neurological symptoms, muscle weakness, or altered responses to medicines. Vomiting, diarrhea, poor nutrition, heavy alcohol consumption, and certain concomitant medications may contribute to electrolyte abnormalities. When a patient receiving a medication associated with cardiac risk develops symptoms or has additional risk factors, the clinical team should evaluate whether electrolyte measurement and correction are indicated. The objective is to identify modifiable contributors to toxicity without subjecting every patient to indiscriminate testing. Monitoring intensity should reflect the expected clinical value of the investigation and the probability that its findings will alter management.

Nutritional status is another clinically relevant but sometimes underrecognized determinant of medication tolerability. Individuals experiencing prolonged heavy alcohol consumption, unstable housing, food insecurity, or severe psychosocial stress may have inadequate nutritional intake or associated physiological disturbances. Nutritional deficiencies can contribute to neurological manifestations, fatigue, impaired immune function, and reduced resilience during treatment. These symptoms may be misattributed to psychiatric illness, withdrawal, or medication adverse effects if nutritional factors are not considered. A comprehensive assessment should identify relevant nutritional risks and arrange appropriate evaluation and intervention where indicated. Pharmacovigilance is strengthened when clinicians recognize that medication exposure occurs within a broader physiological and social environment.

Frailty and reduced physiological reserve may further modify the consequences of adverse drug reactions. Although frailty is often associated with older age, vulnerability can also arise in younger individuals with severe chronic disease, malnutrition, or prolonged exposure to harmful substances. Reduced balance, impaired cognition, low muscle mass, and diminished organ function may increase the consequences of sedation, hypotension, and falls. A dose that produces only mild dizziness in a healthier individual may cause a serious injury in someone with limited physiological reserve. Risk assessment should therefore consider functional status and the potential consequences of an adverse effect, not simply the probability that the effect will occur.

Falls represent an important safety outcome because they may result from several interacting factors, including intoxication, withdrawal, orthostatic hypotension, impaired coordination, sleep deprivation, and medication-induced sedation. A fall should prompt an assessment of the circumstances and the possibility of underlying injury, particularly when head trauma, anticoagulant use, or impaired consciousness is present. Recurrent falls may indicate that the medication regimen requires review or that additional environmental and functional interventions are necessary. Pharmacovigilance records should capture clinically significant falls even when the relationship to a particular medicine is uncertain, because these events may reveal preventable combinations of risk factors.

Sleep disturbance also warrants a differentiated approach. Insomnia may precede treatment, emerge during withdrawal, persist as part of a psychiatric disorder, or occur as an adverse effect of medication. Daytime sleepiness may indicate excessive sedation, disrupted sleep architecture, concurrent substance exposure, or an underlying sleep disorder. Treating every sleep complaint with another sedating medicine can create prescribing cascades in which the adverse effects of one agent generate the indication for another. Before adding treatment, clinicians should examine the timing of symptoms, current medication exposure, substance use patterns, sleep habits, and relevant medical conditions. Where medication is necessary, its expected benefit and risk should be reassessed after initiation.

A prescribing cascade can develop when an adverse effect is misinterpreted as a new disease and treated with an additional medicine rather than addressing the original cause. In addiction pharmacotherapy, dizziness may lead to unnecessary treatment for vertigo, constipation may prompt repeated additions to an increasingly complex regimen, and medication-related insomnia may result in the introduction of another psychoactive agent. Such cascades increase treatment burden and can obscure the original adverse reaction. A medication review should therefore ask whether a new symptom began after a treatment change, whether the proposed additional medicine addresses the underlying cause, and whether dose adjustment or discontinuation would be more appropriate. This approach supports rational prescribing and reduces avoidable polypharmacy.

The concept of deprescribing is relevant when the risks of continued medication exposure outweigh its expected benefits, particularly when a medicine no longer has a valid indication or when several agents produce overlapping adverse effects. Deprescribing should not be equated with indiscriminate medication reduction. Some medications used in addiction treatment are protective and should be maintained when clinically indicated, even when other medicines require review. The process should involve an individualized assessment of benefit, harm, withdrawal risk, recurrence of the underlying disorder, and patient preferences. Where gradual reduction is necessary, a clear plan and follow-up schedule should be established, with monitoring for symptom recurrence or withdrawal-related complications.

Patient participation is essential to the success of medication review. Individuals may value symptom relief, functional improvement, avoidance of sedation, preservation of employment, or the ability to participate in family responsibilities differently. A regimen that is pharmacologically acceptable may nevertheless be difficult to sustain if its adverse effects interfere with daily life. Shared decision-making allows clinicians to understand which outcomes matter most to the patient and to compare the likely benefits and risks of available alternatives. This process should communicate uncertainty honestly and avoid presenting a treatment choice as risk-free. Informed participation can improve adherence, treatment satisfaction, and the early recognition of adverse reactions.

Health literacy influences whether patients can recognize medication-related warning signs and respond appropriately. Complex terminology, lengthy instructions, and inconsistent advice may prevent people from understanding how to administer medicines or when to seek help. Communication should be adapted to the patient's language, literacy, cognitive capacity, and circumstances. Teach-back methods can help establish whether key information has been understood: the patient is invited to explain the medication plan in their own words, allowing misunderstandings to be corrected without blame. Written instructions should complement rather than replace discussion and should identify the most important actions in a clear, accessible format.

The risk of stigma remains a significant barrier to effective pharmacovigilance. Patients may avoid reporting substance use, medication sharing, missed doses, or adverse effects if they expect

punishment, dismissal, or loss of access to care. Stigmatizing language can also influence the interpretation of symptoms, leading clinicians to attribute physical complaints to substance use without adequate investigation. A nonjudgmental clinical environment supports more accurate disclosure and improves the quality of the information used for safety assessment. This does not require ignoring hazardous behavior or minimizing clinical risk; it requires addressing risk through evidence-based assessment, clear communication, and proportionate intervention.

Confidentiality is especially important when pharmacovigilance information concerns substance use, psychiatric symptoms, overdose, or potentially stigmatized health conditions. Patients should understand how their clinical information is documented, who may access it, and the circumstances under which information may be shared according to applicable law and professional obligations. Data collection should be limited to what is clinically or scientifically justified, and safety systems should use appropriate safeguards against unauthorized disclosure. Where information is used for research or quality improvement, governance arrangements should protect privacy and maintain public confidence. Poorly managed confidentiality can reduce participation and compromise the reliability of safety reporting.

Pharmacists can make a substantial contribution to the prevention, detection, and management of medication-related harm. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, formulation, interactions, dosing, and medication-use processes can complement the diagnostic and treatment responsibilities of other clinicians. Community pharmacists may identify repeated early refills, duplicate prescriptions, contraindicated combinations, or discrepancies between prescribed and reported medication use. Hospital pharmacists can contribute to medication reconciliation, dose optimization, discharge planning, and the evaluation of suspected adverse drug reactions. The value of these interventions depends on clear communication pathways and access to sufficient clinical information to support meaningful recommendations.

Pharmacist-led medication review should prioritize clinically important problems rather than the mere number of recommendations generated. A useful review identifies the therapeutic purpose of each medicine, evaluates its effectiveness and tolerability, examines interactions and contraindications, and considers whether monitoring is appropriate. Recommendations should distinguish between urgent safety concerns and opportunities for longer-term optimization. When a potential problem is identified, the pharmacist should communicate its clinical significance, the supporting evidence, and the proposed action to the responsible prescriber. Follow-up is necessary to determine whether the recommendation was accepted, implemented, and associated with an improved outcome.

Interprofessional collaboration is particularly valuable when a patient receives treatment for several coexisting conditions. Addiction specialists, psychiatrists, general practitioners, nurses, pharmacists, laboratory professionals, and social care providers may each possess information relevant to medication safety. However, multidisciplinary involvement does not automatically ensure coordinated care. Roles should be clearly defined, important clinical changes should be communicated promptly, and responsibility for reviewing results should be explicit. Unassigned responsibility can result in abnormal findings being overlooked, suspected adverse reactions remaining undocumented, or medication changes being implemented without appropriate follow-up.

The integration of clinical decision support into electronic prescribing systems may reduce some medication errors by identifying contraindications, duplicate therapy, high-risk combinations, and dosing problems. Nevertheless, automated alerts are only useful when they are clinically relevant, sufficiently specific, and integrated into the workflow. Excessive low-value warnings can produce alert fatigue, causing clinicians to override even important alerts without adequate consideration. Decision support should prioritize risks according to severity, probability, and the

availability of effective mitigation. Systems should also permit justified clinical exceptions and document the rationale for decisions when an alert is overridden.

Clinical decision-support algorithms must account for the limitations of the data available to them. An electronic record may contain outdated diagnoses, incomplete medication histories, inaccurate allergy entries, or information imported from another institution without confirmation. An alert generated from such information may be irrelevant or misleading. Conversely, an algorithm may fail to identify a dangerous combination when an unrecorded substance or nonprescription medicine is involved. Automated systems should therefore support, rather than replace, clinical judgment and patient communication. Their performance should be evaluated using clinically meaningful outcomes, including reductions in preventable harm, rather than the number of alerts displayed or recommendations generated.

The development of predictive models for medication-related harm offers opportunities to identify patients who may benefit from intensified monitoring. Models may incorporate age, comorbidities, renal and hepatic function, medication burden, prior adverse events, recent hospitalization, and patterns of treatment interruption. However, prediction is only useful when the resulting risk estimate leads to an appropriate intervention. A high-risk classification should prompt a review of modifiable factors, not automatically justify restricting access to effective treatment. Predictive tools should be externally validated, recalibrated when populations or clinical practices change, and evaluated for unequal performance across demographic and socioeconomic groups.

The use of artificial intelligence in pharmacovigilance also raises questions about transparency, reproducibility, and accountability. Machine-learning systems may identify patterns in large datasets that are difficult to detect through conventional analysis, but their outputs can be affected by incomplete reporting, biased training data, changes in prescribing practice, and differences in healthcare access. A model trained primarily on data from one population may perform poorly when applied to another population with different clinical characteristics or reporting behavior. Validation should therefore examine both discrimination and calibration, and the system should be assessed under the conditions in which it will actually be used. Human oversight remains necessary when algorithmic recommendations have important clinical consequences.

Natural language processing may help identify suspected adverse drug reactions in clinical notes, discharge summaries, and other unstructured records. Such methods can potentially increase detection by extracting information that would otherwise remain outside formal reporting systems. However, clinical documentation contains negation, uncertainty, historical information, and competing explanations that may be difficult to interpret automatically. A statement that a medication-related reaction was excluded should not be treated as evidence that the reaction occurred, and a symptom documented in a historical context should not automatically be attributed to current exposure. Algorithms must therefore be evaluated against carefully reviewed reference data and should preserve uncertainty rather than converting ambiguous text into definitive causal conclusions.

Signal detection in pharmacovigilance involves identifying patterns that may indicate a previously unrecognized or insufficiently characterized safety concern. Disproportionality analyses and other statistical methods can help prioritize potential signals in spontaneous-reporting databases, but they cannot establish causality on their own. A signal may reflect increased awareness, stimulated reporting, publicity, changes in prescribing volume, or confounding by the underlying disease. Conversely, a genuine safety concern may remain undetected when reporting is sparse or the outcome is difficult to distinguish from background morbidity. Signal evaluation should integrate statistical findings with biological plausibility, clinical case review, exposure information, and evidence from other data sources.

The interpretation of spontaneous reports is further complicated by missing denominators. An increase in the number of reports associated with a medication does not necessarily mean that the incidence of adverse reactions has increased, because the number of exposed patients may also have changed. Comparisons between medicines are especially difficult when their indications, treatment duration, patient populations, and reporting intensity differ. Where feasible, investigators should supplement spontaneous reports with information on utilization and exposure, while recognizing the limitations of each source. The objective is to identify and investigate credible safety concerns rather than infer precise risk estimates from data that cannot support them.

Active surveillance can complement spontaneous reporting by systematically evaluating outcomes among defined populations of exposed patients. Electronic health records, claims databases, registries, and linked datasets may support the examination of uncommon outcomes, treatment patterns, and long-term safety questions. However, observational data are susceptible to confounding by indication, incomplete measurement of substance use, inaccurate exposure classification, and differential follow-up. Patients prescribed a particular medication may differ systematically from those receiving an alternative treatment, and these differences can influence outcomes independently of the medication itself. Robust study design, careful covariate assessment, sensitivity analyses, and transparent reporting are essential to reduce misleading conclusions.

Comparative safety research should also recognize that treatment assignment in routine practice is influenced by clinical judgment, patient preference, service availability, and local prescribing policies. These factors can create substantial differences between treatment groups before exposure begins. Statistical adjustment may reduce measured confounding but cannot guarantee that all relevant differences have been addressed. Researchers should clearly distinguish associations from causal effects and avoid presenting adjusted estimates as definitive proof of comparative safety. Triangulation across study designs, populations, and data sources can increase confidence when findings are consistent and the limitations of individual approaches are understood.

The evaluation of rare but serious adverse reactions presents particular methodological challenges. Randomized trials may be insufficiently large or short to detect events that occur infrequently or after prolonged exposure. Post-marketing surveillance can expand the evidence base, but sparse data may make it difficult to distinguish a true signal from chance or confounding. Case reports and case series can provide important early warnings, particularly when the clinical pattern is unusual, but they should be interpreted in conjunction with other evidence. When a potential serious risk is identified, the appropriate response may include targeted investigation, enhanced monitoring, updated product information, or other proportionate measures while uncertainty is being resolved.

The safety assessment of medicines should include clinically relevant outcomes beyond traditional laboratory abnormalities and hospital admissions. Cognitive functioning, ability to work, sleep quality, physical mobility, social participation, and treatment satisfaction can reveal adverse effects that materially influence the patient's life. These outcomes may not be captured by routine safety databases, particularly when they develop gradually or are not associated with an acute medical encounter. Incorporating patient-reported outcomes can therefore provide a more complete assessment of tolerability. Validated instruments and consistent measurement schedules can improve comparability while reducing the risk that minor, transient symptoms are interpreted as equivalent to severe or persistent impairment.

Patient-reported adverse effects are especially important when they influence treatment continuation. A medicine may demonstrate favorable efficacy in a controlled trial but prove

difficult to sustain in routine practice because of symptoms that interfere with daily activities. Such symptoms should not be dismissed simply because they are not classified as medically serious. At the same time, their clinical significance should be evaluated in relation to duration, severity, functional impact, and the patient's treatment goals. A structured assessment can help determine whether reassurance, symptomatic management, dose adjustment, or a different therapeutic strategy is appropriate.

Treatment burden is a further dimension of medication safety. Multiple daily doses, frequent clinic visits, laboratory appointments, complex administration instructions, and restrictive monitoring arrangements may create practical difficulties that affect adherence and continuity. These demands can be particularly challenging for individuals facing unstable housing, irregular employment, caregiving responsibilities, transportation barriers, or limited financial resources. A treatment plan that is theoretically optimal but practically inaccessible may produce poorer outcomes than a feasible alternative. Pharmacotherapeutic optimization should therefore consider not only pharmacological suitability but also the patient's ability to obtain, understand, and sustain the prescribed regimen.

Access-related interruptions should be distinguished from voluntary treatment discontinuation. A patient may miss medication because a prescription cannot be renewed promptly, a pharmacy lacks stock, insurance or reimbursement arrangements change, transportation is unavailable, or clinic appointments are difficult to obtain. Such interruptions can create risks of withdrawal, recurrence of substance use, or loss of tolerance. Safety surveillance should document the circumstances of interruption and examine whether the event reflects a preventable system failure. Addressing access barriers may be as important as changing the medication itself.

Medication shortages can also influence treatment safety by requiring substitutions, changes in formulation, or altered dispensing arrangements. Substitution may be clinically appropriate, but differences in dose equivalence, administration instructions, or pharmacokinetic properties can create confusion if not clearly communicated. Healthcare organizations should maintain procedures for managing shortages, including assessment of therapeutic alternatives, communication with patients, and documentation of the rationale for changes. Where substitution involves a medicine with a different safety profile, additional monitoring may be necessary. A shortage should not lead to an unplanned interruption of essential treatment when a clinically appropriate alternative can be arranged.

The affordability of treatment is closely connected to medication continuity and safety. Patients who cannot afford prescribed medicines may ration doses, delay refills, or substitute nonprescribed products. These behaviors can produce unpredictable exposure and complicate the interpretation of treatment failure or adverse reactions. Clinicians should ask about financial barriers in a routine and nonjudgmental manner and consider lower-cost alternatives or available support mechanisms when appropriate. Health systems should evaluate whether reimbursement policies and dispensing arrangements unintentionally encourage unsafe treatment patterns. Financial accessibility is not separate from pharmacovigilance when it directly influences how medicines are used.

The quality of pharmaceutical supply chains also has implications for safety. Medicines obtained from unregulated or uncertain sources may have inaccurate labeling, variable potency, contamination, or unexpected ingredients. These problems can be particularly consequential when the medicine has a narrow margin between therapeutic and toxic exposure or when the patient assumes that a product contains a known substance. Healthcare professionals should provide practical guidance on obtaining medicines through reliable channels and should respond to suspected product-quality problems through appropriate reporting mechanisms. Investigation

should distinguish product defects from prescribing errors, administration errors, and pharmacological adverse reactions because the preventive actions may differ.

Medication errors involving dispensing, preparation, administration, or storage should be incorporated into safety surveillance even when no injury occurs. Near misses can reveal weaknesses in prescribing software, labeling, workflow design, staffing, or communication. A dispensing error intercepted before the medicine reaches the patient may provide valuable information about a hazardous process that could produce harm in another circumstance. Reporting systems should therefore encourage the documentation of near misses and support analysis of underlying causes. A learning-oriented approach is more likely to identify recurring system vulnerabilities than one focused exclusively on individual blame.

Root-cause analysis can be useful after a serious medication-related incident, provided that it examines the broader circumstances in which the event occurred. Relevant factors may include workload, interruptions, unclear responsibilities, inadequate training, poor information transfer, inaccessible guidance, and limitations of the electronic record. The investigation should also examine whether the medication regimen itself was unnecessarily complex or whether a preventable interaction was overlooked. Recommendations should target modifiable system weaknesses and specify who is responsible for implementing changes. A review that identifies causes but does not produce measurable corrective actions is unlikely to improve safety reliably.

Safety culture is therefore a central component of effective pharmacovigilance. Staff must be able to raise concerns, report errors, and question potentially hazardous prescribing without fear of disproportionate punishment. This does not eliminate professional accountability; rather, it distinguishes human error, system-induced error, risky workarounds, and deliberate disregard of established safeguards. Different circumstances require different responses. Organizations should support open communication, timely feedback, and learning from incidents, while maintaining clear standards for safe practice. The effectiveness of a safety culture can be assessed through reporting quality, staff engagement, implementation of corrective actions, and evidence of reduced recurrence.

The evaluation of pharmacovigilance programs should focus on whether they improve patient outcomes and clinical processes. The number of adverse-event reports submitted is a useful operational measure but is not sufficient to demonstrate effectiveness. Increased reporting may reflect improved awareness, while a decrease may indicate either fewer events or deteriorating reporting practices. More informative indicators include the proportion of serious events investigated, time to recognition of emerging risks, completion of medication reviews, implementation of risk-reduction recommendations, and recurrence of preventable incidents. Outcome measures should be interpreted in relation to exposure, case mix, treatment intensity, and changes in reporting practices.

Quality-improvement initiatives should use baseline measurements and repeated evaluation to determine whether an intervention produces sustained benefit. For example, introducing a standardized medication reconciliation process may initially increase the detection of discrepancies because staff identify problems that were previously undocumented. This increase should not automatically be interpreted as deterioration in care. Investigators should distinguish between improved detection and a genuine increase in medication-related harm. Subsequent evaluation can examine whether discrepancies are resolved, preventable adverse events decline, and treatment continuity improves. The interpretation of performance indicators must account for the expected effects of improved surveillance.

The implementation of clinical guidelines requires similar attention to context. Guidelines provide a structured evidence base but cannot anticipate every combination of comorbidities, preferences, resource constraints, and treatment history. Excessive rigidity may produce

inappropriate care when a patient's circumstances differ from those assumed by the guideline. Conversely, undocumented deviation may expose patients to avoidable risk. Clinicians should use guidelines as a foundation for individualized decisions, document clinically meaningful reasons for exceptions, and reassess those decisions when new information emerges. Guideline adherence should therefore be evaluated alongside clinical appropriateness and patient outcomes rather than treated as an end in itself.

Regulatory pharmacovigilance and clinical pharmacovigilance serve complementary purposes. Regulatory systems assess evidence across populations, identify emerging safety signals, and determine whether product information or risk-management measures require modification. Clinical pharmacovigilance applies safety knowledge to individual patients through prescribing decisions, monitoring, counseling, and treatment modification. Information must flow between these levels. Clinical observations may reveal signals requiring broader investigation, while regulatory communications may prompt changes in local practice. Effective systems should ensure that safety information reaches the professionals and patients who need it in a form that supports timely action.

Risk-management plans should be proportionate to the seriousness and probability of identified harms and should specify how the effectiveness of mitigation measures will be assessed. Educational materials, prescribing restrictions, laboratory monitoring, and follow-up arrangements may be appropriate in selected circumstances, but additional requirements can also create burdens that discourage access to beneficial treatment. The design of a risk-management intervention should therefore consider both its intended protective effect and its possible unintended consequences. A measure that reduces one type of risk while substantially increasing treatment interruption or delaying access requires careful evaluation.

Communication of emerging safety concerns should be precise, transparent, and clinically actionable. Overly reassuring messages may delay recognition of important harms, while exaggerated warnings may lead to unnecessary discontinuation or avoidance of effective treatment. Safety communications should explain the nature of the concern, the strength and limitations of the evidence, the populations most likely to be affected, and the recommended clinical response. Where uncertainty remains, it should be acknowledged explicitly. Updating clinical guidance as evidence evolves is an essential part of responsible pharmacovigilance, particularly when new information changes the balance between therapeutic benefit and risk.

The role of patients in reporting adverse drug reactions should be strengthened through accessible reporting mechanisms and clear explanations of their purpose. Patients may identify symptoms that are not communicated during routine consultations or that occur between scheduled appointments. Direct reporting can complement reports from clinicians and other healthcare professionals, particularly when patients have difficulty obtaining timely follow-up. However, reporting systems should not create the impression that submission of a report guarantees a specific clinical response or establishes causality. Patients should be encouraged to seek urgent medical attention for serious symptoms rather than relying on an administrative reporting process.

The ethical dimensions of pharmacovigilance include respect for autonomy, equitable access to treatment, protection of confidentiality, and the obligation to reduce preventable harm. Individuals receiving addiction treatment should have access to accurate information about relevant risks and alternatives, including the consequences of untreated substance use disorder. Decisions should not be based on stigma or generalized assumptions about adherence, motivation, or credibility. Where capacity to make a particular decision is impaired by an acute clinical condition, appropriate safeguards should be applied while preserving the person's dignity

and involving them in decisions as far as possible. Ethical pharmacovigilance requires balancing safety with the avoidance of unnecessary restrictions and discrimination.

Equity in medication safety deserves explicit investigation because adverse outcomes may be distributed unevenly across populations. Differences in healthcare access, language, income, housing stability, geographic location, disability, and exposure to stigma can influence whether patients receive monitoring, report symptoms, or obtain timely treatment. These factors may also affect the completeness of the data used to evaluate medication safety. A population with limited access to healthcare may appear to have fewer documented adverse reactions even when its true burden of harm is substantial. Surveillance systems should therefore consider the possibility of underascertainment and evaluate whether monitoring and treatment resources are reaching groups with greater unmet need.

The assessment of sex-related and gender-related differences in medication safety requires careful definition of the variables under investigation. Biological factors may influence pharmacokinetics, pharmacodynamics, hormonal regulation, or the prevalence of particular adverse reactions, while gender-related social factors may influence prescribing, healthcare access, disclosure, and treatment continuation. These influences should not be conflated. Research should collect and analyze relevant variables transparently and avoid attributing observed differences to biological mechanisms without sufficient evidence. Where sample sizes permit, analyses should examine whether treatment effects and adverse outcomes vary across clinically meaningful subgroups.

Age-related differences also require attention, particularly in adolescents, young adults, and older people. Developmental physiology, patterns of substance exposure, psychiatric comorbidity, and social circumstances may differ substantially across age groups. Evidence derived from adults cannot automatically be extrapolated to younger populations, and age-related changes in organ function and medication burden may alter the safety profile in older adults. Research and clinical guidance should identify the populations to which the evidence applies and acknowledge important gaps. Monitoring plans should be adjusted to the relevant developmental and physiological characteristics rather than relying exclusively on chronological age.

Pregnancy and the postpartum period introduce additional considerations because medication decisions must account for maternal health, fetal or neonatal exposure where relevant, and the risks associated with untreated substance use disorder. Fear of adverse effects or stigma may lead some patients to delay care or avoid disclosing substance use. Clinical discussions should present the available evidence accurately and compare the potential risks of medication exposure with the risks of withdrawal, relapse, overdose, and untreated illness. Decisions should be individualized and supported by clinicians with appropriate expertise. Pharmacovigilance should also consider changes in medication handling during pregnancy and after delivery when these changes are clinically relevant.

The postpartum period may be associated with changes in physiological status, sleep, stress, medication requirements, and access to routine care. These changes can complicate the interpretation of adverse symptoms and increase the importance of coordinated follow-up. Where medication exposure may affect an infant, counseling should be based on the specific medicine, dose, route, clinical circumstances, and current evidence rather than generalized assumptions. Healthcare professionals should support informed decisions and ensure that safety concerns are addressed without unnecessarily disrupting effective treatment. Continuity between obstetric, addiction, psychiatric, primary care, and pediatric services may be important when several teams are involved.

The pharmacovigilance needs of people with infectious diseases, including human immunodeficiency virus and viral hepatitis, further demonstrate the importance of interaction

assessment. Antiretroviral agents, antiviral medicines, antibiotics, and medications used in addiction treatment may share metabolic pathways or have overlapping effects on organ function. Complex treatment regimens can increase the risk of interactions, but appropriate coordination can often preserve access to effective therapies. Medication reviews should consider the full regimen, including changes initiated by different specialists, and should evaluate the clinical consequences of modifying any individual component. Decisions should be coordinated to avoid solving one interaction problem by creating another.

The management of tuberculosis and other infections requiring prolonged antimicrobial treatment may be especially challenging when rifamycin-containing regimens or other enzyme-inducing agents affect the exposure of concomitant medicines. Reduced concentrations of a maintenance medication may contribute to withdrawal symptoms or destabilization, while stopping the interacting antimicrobial may compromise treatment of the infection. The response should be coordinated across the relevant specialties, with consideration of alternative regimens where clinically appropriate and monitoring for changes in treatment response. When dose adjustment is required, the plan should also address what happens when the interacting medicine is discontinued, because metabolic effects may change again and the previously adjusted dose may no longer be appropriate.

The safety implications of smoking and changes in tobacco consumption should also be considered in selected medication regimens. Constituents of tobacco smoke can influence the activity of certain metabolic enzymes, meaning that changes in smoking behavior may alter the exposure of susceptible medicines even when the prescribed dose remains unchanged. The effect is medication-specific and should not be generalized to every drug used in addiction treatment. When a patient stops smoking, reduces consumption, or resumes smoking after a period of abstinence, clinicians should consider whether any concurrently prescribed medicine requires reassessment. This illustrates a broader principle: changes in environmental and behavioral exposures can modify pharmacological response and should be included in medication review when clinically relevant.

Cannabis exposure may complicate safety assessment through its potential effects on cognition, coordination, anxiety, and cardiovascular function, as well as through possible interactions with selected medicines. The clinical significance depends on the product, route of administration, frequency of use, co-exposures, and the patient's medical history. Because the composition and potency of products may vary, exposure estimates can be uncertain. Clinicians should ask about use in a neutral manner and evaluate whether it may contribute to the observed clinical presentation. Claims about specific interactions should be proportionate to the strength of the available evidence, particularly when data are derived from limited studies or mechanistic hypotheses rather than established clinical outcomes.

The use of complementary medicines, herbal products, and dietary supplements presents another source of uncertainty. Patients may not consider these products to be medicines and may therefore omit them from medication histories. Some products can affect metabolic enzymes, platelet function, blood pressure, or other physiological processes, while their composition and quality may vary. A safety review should establish the product name, ingredients when known, dose, frequency, and reason for use. Where evidence about an interaction is limited, clinicians should communicate the uncertainty and assess whether continued use is justified. Documentation is important because the omission of complementary products can make otherwise unexplained adverse events difficult to interpret.

The evaluation of medication safety should also consider administration errors associated with formulation and route. Confusion between immediate-release and modified-release products, incorrect measurement of liquid formulations, inappropriate tablet manipulation, and

misunderstandings about injectable administration can alter exposure or treatment effectiveness. These risks may be increased when products are changed because of availability or when instructions are communicated across several care settings. Prescribers and pharmacists should verify that the selected formulation is appropriate and that the patient understands the administration method. Where a formulation change is necessary, the expected differences and relevant precautions should be explained explicitly.

Storage and disposal practices are additional elements of medication safety. Medicines stored under unsuitable conditions may lose stability, while unsecured storage can increase the risk of accidental ingestion, diversion, or access by other household members. Disposal of unused medicines should follow applicable local guidance and should avoid practices that create unnecessary exposure or environmental contamination. These issues are particularly relevant when treatment changes leave patients with unused supplies or when medicines are administered in shared living environments. Counseling should be practical and tailored to the actual product and the patient's circumstances.

Environmental pharmaceutical contamination is relevant to the broader stewardship of medicines, although it should be distinguished from direct clinical pharmacovigilance. Improper disposal and the release of pharmaceutical residues can contribute to environmental exposure, while antimicrobial residues may be relevant to the wider problem of antimicrobial resistance. These concerns do not imply that appropriately prescribed addiction medications should be withheld. Instead, they support responsible manufacturing, disposal, wastewater management, and pharmaceutical governance. An integrated medication-safety framework can recognize environmental responsibilities while maintaining the primary clinical obligation to provide effective and safe treatment to individual patients.

The quality of clinical research on addiction pharmacotherapy can be improved by standardizing adverse-event definitions, severity classifications, follow-up intervals, and methods of causal assessment. Inconsistent terminology makes it difficult to compare findings across trials, registries, and observational studies. One investigation may classify a symptom as a treatment-emergent event, while another may record it only when a causal relationship is suspected. Such differences can create apparent variation in safety outcomes that reflects methodology rather than true clinical differences. Clear definitions and transparent reporting are therefore necessary for reliable synthesis.

Clinical trials should report both absolute and relative measures of adverse-event frequency whenever the data permit. Relative comparisons may make differences appear substantial even when the absolute change in risk is small, while absolute frequencies alone may obscure important relative increases. Reporting should also identify the duration of exposure, the number of participants evaluated for each outcome, the handling of missing data, and the criteria used to define serious events. Where possible, the timing and persistence of adverse reactions should be described because a transient symptom and a persistent event may have different clinical implications. These details support more informed decisions by clinicians, patients, and policymakers.

Long-term follow-up is especially important when treatment is intended to continue for months or years. Short-term studies may characterize early tolerability but cannot fully establish the safety of prolonged exposure, the cumulative burden of adverse effects, or the consequences of repeated treatment interruptions. Longitudinal research should examine changes in organ function, comorbidities, concurrent medication use, treatment response, and patient-reported outcomes over time. It should also consider the influence of attrition, because participants who discontinue treatment may differ systematically from those who remain under observation. Loss

to follow-up should not be assumed to indicate either safety or treatment failure without additional evidence.

The generalizability of research findings requires careful appraisal. Participants in clinical trials may differ from patients encountered in routine practice because of exclusion criteria, intensive follow-up, stable housing, lower comorbidity burden, or reduced prevalence of complex substance use patterns. The safety profile observed in a controlled trial may therefore not fully reflect the experience of people receiving care in under-resourced settings. Pragmatic trials, prospective cohorts, registries, and well-designed observational studies can help extend the evidence base to more diverse populations. Their findings should be interpreted with appropriate attention to confounding and differences in data quality.

Research on treatment retention should be integrated with adverse-event evaluation because safety and continuity are interdependent. A medicine that produces substantial therapeutic benefit but is frequently discontinued because of intolerable adverse effects may require a different implementation strategy or a more individualized approach. Conversely, a treatment associated with manageable adverse effects may provide substantial net benefit when it reduces withdrawal, craving, overdose risk, or other clinically significant outcomes. Investigators should distinguish discontinuation caused by adverse effects from discontinuation due to lack of efficacy, access barriers, personal preference, or unrelated circumstances. This distinction can identify opportunities for more effective counseling and safer treatment delivery.

Economic evaluation can help determine whether investment in pharmacovigilance interventions produces meaningful health-system benefits. Preventing serious adverse reactions may reduce emergency visits, hospital admissions, additional diagnostic procedures, and treatment interruption. However, the costs of monitoring, staff training, electronic systems, and patient support should also be considered. Economic analyses should evaluate the full pathway of care and avoid assuming that a lower-cost medicine is necessarily more cost-effective if it leads to poorer treatment continuity or greater downstream morbidity. The most informative evaluations connect resource use to clinically relevant outcomes and patient-centered benefits.

Implementation research is necessary to determine how evidence-based pharmacovigilance practices can be adopted and sustained in different healthcare environments. An intervention that succeeds in a specialist center with extensive staffing may be difficult to reproduce in a community service with limited resources. Implementation studies should examine workflow compatibility, training needs, organizational support, patient acceptability, and the resources required for continued operation. Adaptation may be necessary, but core safety functions should be preserved. Documenting which components are essential and which can be modified can help translate successful interventions into routine practice.

The development of standardized educational programs for healthcare professionals can improve the recognition and management of adverse drug reactions. Training should cover medication reconciliation, interaction assessment, causality evaluation, serious-event recognition, reporting procedures, communication with patients, and the interpretation of uncertainty. It should also address the clinical characteristics of addiction treatment, including changes in tolerance, overdose prevention, withdrawal-related complications, and the consequences of treatment interruption. Case-based learning can help professionals integrate these concepts into realistic clinical decisions. Competency should be assessed through practical application rather than attendance alone.

Continuing professional development should reflect changes in pharmacological evidence, regulatory guidance, and patterns of substance exposure. Emerging synthetic substances, changes in the illicit drug supply, new formulations, and evolving treatment practices may alter the risks encountered in clinical care. Educational materials should therefore be reviewed periodically and

should distinguish established evidence from preliminary findings. Clinicians need reliable access to current drug information and clear pathways for consultation when an unfamiliar interaction or suspected adverse reaction arises. Maintaining competence is an ongoing requirement because the clinical environment and the evidence base continue to change.

The effectiveness of pharmacovigilance in addiction treatment depends on the integration of scientific evidence, clinical judgment, patient participation, and health-system accountability. No single reporting database, laboratory test, predictive algorithm, or prescribing guideline can fully characterize medication safety across all clinical contexts. Reliable assessment requires multiple sources of information, transparent evaluation of uncertainty, and an explicit connection between safety findings and clinical action. The objective is to identify preventable harm early, preserve access to effective treatment, improve the quality of prescribing and monitoring, and support recovery without unnecessary treatment disruption. By embedding these principles throughout medication selection, initiation, maintenance, modification, and discontinuation, healthcare systems can strengthen the safety and effectiveness of addiction pharmacotherapy while maintaining a balanced, evidence-based approach to individual patient care.

Current Landscape of Pharmacovigilance in Addiction Pharmacotherapy

The analysis of contemporary scientific evidence demonstrates that pharmacovigilance has become an indispensable component of modern addiction treatment, providing a structured framework for evaluating medication safety, identifying adverse drug reactions (ADRs), and optimizing therapeutic outcomes. The findings indicate that pharmacological management of substance use disorders has substantially improved patient survival, treatment retention, relapse prevention, and quality of life; however, continuous safety surveillance remains essential because addiction medications are frequently administered to individuals with complex clinical profiles, including psychiatric comorbidities, chronic medical conditions, and concurrent medication use. The results reveal that medications used in addiction treatment possess distinct safety characteristics requiring individualized monitoring approaches. Unlike many conventional therapeutic areas, addiction pharmacotherapy involves prolonged treatment periods, variable adherence patterns, potential misuse risks, and significant interactions between pharmacological effects and behavioral factors. Therefore, traditional safety assessment approaches based solely on controlled clinical trials are insufficient to fully characterize long-term medication-related risks. Integration of post-marketing surveillance, real-world evidence, and patient-centered monitoring systems is necessary to provide a complete understanding of medication safety.

Safety Assessment of Pharmacological Treatments for Opioid Use Disorder

The evaluation of opioid use disorder medications demonstrates that opioid agonist and antagonist therapies represent highly effective interventions but require comprehensive safety management. Maintenance therapies have significantly reduced illicit opioid consumption, overdose mortality, and infectious disease transmission while improving social functioning and treatment engagement. Nevertheless, pharmacovigilance data emphasize the importance of monitoring respiratory effects, cardiovascular complications, central nervous system interactions, withdrawal-related events, and risks associated with inappropriate dosing.

The findings indicate that safety outcomes are strongly influenced by patient-specific factors, including age, metabolic variability, hepatic function, psychiatric status, and concomitant use of sedative medications. Drug–drug interactions, particularly those involving central nervous system depressants, remain a major concern requiring active clinical monitoring. Appropriate dose titration, adherence assessment, patient education, and collaboration among healthcare professionals are essential strategies for reducing preventable medication-related harm.

The analysis further demonstrates that therapeutic monitoring programs improve the safety profile of opioid-related pharmacotherapy by facilitating early recognition of adverse reactions and supporting individualized treatment adjustments. The involvement of clinical pharmacists and addiction specialists contributes significantly to medication optimization through comprehensive medication reviews, interaction assessment, and patient counseling.

Pharmacovigilance Considerations in Alcohol Dependence Treatment

The results indicate that pharmacological treatment of alcohol dependence presents unique safety challenges due to frequent coexistence of liver disease, psychiatric disorders, nutritional deficiencies, and polypharmacy. Medications used for alcohol-related disorders require careful assessment of hepatic safety, neurological effects, psychological responses, and adherence patterns.

Evidence from clinical investigations suggests that effective pharmacovigilance approaches improve the identification of patients at increased risk of medication-related complications. Baseline clinical evaluation, laboratory monitoring, evaluation of comorbid conditions, and regular assessment of treatment response are essential elements of safe therapeutic management. The findings emphasize that risk–benefit evaluation is particularly important in alcohol dependence treatment because untreated addiction itself represents a significant health risk. Therefore, pharmacovigilance should not only focus on identifying medication-associated risks but also consider the overall clinical benefits achieved through effective addiction control, reduction of harmful alcohol consumption, and prevention of associated diseases.

Medication Safety Monitoring in Nicotine Dependence Therapy

The assessment of nicotine dependence therapies demonstrates that pharmacological interventions, including nicotine replacement approaches and non-nicotine medications, have contributed substantially to smoking cessation outcomes. However, continuous safety evaluation remains important because treatment effectiveness and tolerability may vary among different patient populations.

The results indicate that cardiovascular status, psychiatric history, medication adherence, and behavioral factors influence treatment outcomes. Pharmacovigilance systems provide valuable information regarding rare adverse events, treatment discontinuation patterns, and patient-specific safety considerations. Integration of behavioral interventions with pharmacological monitoring improves overall therapeutic effectiveness and reduces treatment-related complications.

Role of Adverse Drug Reaction Detection and Reporting Systems

A major finding of this analysis is that underreporting of adverse drug reactions remains one of the most significant challenges in addiction pharmacotherapy surveillance. Several factors contribute to insufficient reporting, including stigma associated with substance use disorders, limited awareness among healthcare professionals, uncertainty regarding causal relationships, and inadequate integration of reporting systems into routine clinical practice.

Strengthening ADR reporting requires improved education of healthcare professionals, simplified reporting procedures, increased patient participation, and greater institutional support. Active pharmacovigilance systems that combine spontaneous reporting with electronic health records and automated safety surveillance provide greater sensitivity for detecting clinically important safety signals.

The results suggest that artificial intelligence-based signal detection represents a promising approach for improving pharmacovigilance efficiency. Machine learning algorithms can analyze

large-scale healthcare datasets, identify unexpected medication-related patterns, and support early intervention strategies. However, technological approaches must be combined with expert clinical interpretation to ensure accurate assessment and appropriate decision-making.

Risk Management and Clinical Monitoring Strategies

The findings demonstrate that effective risk management is central to safe addiction pharmacotherapy. Risk minimization strategies include appropriate patient selection, individualized dosing, monitoring of therapeutic response, assessment of adverse effects, prevention of medication misuse, and continuous evaluation of treatment adherence.

Comprehensive therapeutic monitoring should incorporate clinical assessment, laboratory investigations when appropriate, evaluation of psychological status, and consideration of social determinants affecting treatment outcomes. Multidisciplinary care models provide the most effective framework for implementing these strategies because addiction involves biological, psychological, and social dimensions.

The analysis highlights the expanding contribution of pharmacists in addiction treatment. Clinical pharmacists support medication safety through medication reconciliation, identification of potential interactions, adverse reaction monitoring, patient education, and promotion of evidence-based medication use. Their involvement strengthens pharmacovigilance systems and improves continuity of care.

Emerging Technologies and Future Directions in Medication Safety

The results indicate that technological innovation is transforming pharmacovigilance in addiction medicine. Artificial intelligence, digital health platforms, electronic monitoring systems, and pharmacogenomic approaches provide opportunities for earlier risk detection and personalized treatment optimization.

Precision pharmacotherapy represents an emerging direction in addiction treatment by integrating genetic information, clinical characteristics, environmental factors, and treatment response data. Such approaches may enable clinicians to predict medication effectiveness, identify individuals at increased risk of adverse reactions, and select safer therapeutic options.

Despite these advances, challenges remain regarding data privacy, ethical considerations, algorithm validation, healthcare accessibility, and integration of digital technologies into routine clinical practice. Future pharmacovigilance frameworks must balance technological innovation with clinical expertise and patient-centered principles.

Global Implications and Public Health Perspectives

The findings emphasize that medication safety in addiction treatment is not only a clinical issue but also a major public health priority. Effective pharmacovigilance systems contribute to reducing preventable harm, improving treatment confidence, strengthening healthcare quality, and supporting evidence-based policy development.

International collaboration among regulatory authorities, healthcare institutions, researchers, and professional organizations is necessary to establish harmonized safety monitoring standards. Global pharmacovigilance networks can facilitate rapid identification of emerging risks, improve access to safety information, and support safer implementation of addiction treatment strategies across diverse healthcare environments.

The study demonstrate that comprehensive pharmacovigilance and safety assessment are fundamental for achieving optimal outcomes in addiction pharmacotherapy. Continuous monitoring, interdisciplinary collaboration, advanced analytical methods, and personalized therapeutic approaches represent essential components of future addiction medicine. The

integration of clinical pharmacology, evidence-based medicine, regulatory science, and innovative technologies will enhance the safety, effectiveness, and sustainability of pharmacological interventions for substance use disorders.

Integration of Real-World Evidence into Addiction Medication Safety Assessment

The evaluation of current pharmacovigilance practices demonstrates that real-world evidence (RWE) has become increasingly important for understanding the long-term safety and effectiveness of medications used in addiction treatment. Traditional randomized controlled trials remain the cornerstone for establishing efficacy and initial safety profiles; however, their controlled conditions may not fully reflect the complexity of real clinical environments. Patients receiving addiction pharmacotherapy frequently differ from trial populations because of multiple comorbidities, social vulnerabilities, variable adherence, concurrent substance use, and diverse healthcare access conditions.

The findings indicate that real-world data derived from electronic health records, insurance databases, clinical registries, patient-reported outcomes, and pharmacovigilance databases provide valuable information regarding medication performance after regulatory approval. These data sources allow researchers and healthcare systems to identify rare adverse events, evaluate long-term treatment outcomes, and detect safety concerns that may not become evident during preauthorization studies.

The integration of real-world evidence into pharmacovigilance frameworks improves the understanding of benefit–risk relationships by considering both therapeutic advantages and potential harms within routine clinical practice. In addiction medicine, this approach is particularly relevant because treatment effectiveness depends not only on pharmacological activity but also on adherence, accessibility, psychosocial support, and continuity of care.

Pharmacovigilance Challenges Associated with Polypharmacy and Comorbid Conditions

A significant finding of this scientific analysis is the complexity of medication safety assessment in patients with addiction disorders who frequently experience multiple chronic diseases requiring additional pharmacological treatment. Common comorbidities include depression, anxiety disorders, cardiovascular diseases, infectious diseases, metabolic disorders, chronic pain conditions, and sleep disturbances. Consequently, polypharmacy represents a major factor influencing adverse drug reaction development and therapeutic complexity.

The results indicate that drug–drug interactions represent one of the most clinically relevant safety concerns in addiction pharmacotherapy. Interactions involving medications affecting the central nervous system may increase sedation, respiratory depression, cognitive impairment, or other serious complications. Additionally, metabolic interactions involving hepatic enzyme systems can alter medication concentrations and influence both therapeutic effectiveness and toxicity.

Comprehensive medication review and clinical decision support systems are therefore essential components of modern pharmacovigilance. Healthcare professionals should evaluate the complete medication profile of each patient, including prescribed medications, over-the-counter products, herbal supplements, and substances obtained outside formal healthcare systems. Such systematic assessment contributes to early identification of potential risks and supports safer therapeutic planning.

Importance of Patient-Centered Pharmacovigilance Approaches

The analysis highlights that effective pharmacovigilance requires active participation of patients receiving addiction treatment. Historically, medication safety systems have primarily relied on

healthcare professional reporting; however, patient-generated safety information provides important insights into treatment experiences, tolerability, adherence barriers, and quality-of-life outcomes.

Patient-centered pharmacovigilance encourages individuals to report adverse effects, communicate treatment concerns, and participate in shared decision-making processes. This approach is particularly important in addiction medicine, where stigma, fear of judgment, and social barriers may prevent individuals from openly discussing medication-related problems.

The findings suggest that improving patient education regarding expected therapeutic effects, potential adverse reactions, and the importance of medication adherence can significantly enhance safety outcomes. Empowered patients are more likely to recognize clinically important symptoms, seek timely medical assistance, and actively contribute to safer treatment practices.

Regulatory Science and International Safety Frameworks

The results demonstrate that regulatory science plays a fundamental role in maintaining the safety and quality of addiction medications throughout their lifecycle. Regulatory agencies establish standards for clinical evaluation, approval processes, adverse event reporting, post-marketing surveillance, and risk management planning.

Modern regulatory approaches increasingly emphasize proactive safety assessment rather than reactive responses to medication-related problems. Risk management plans, periodic safety update reports, signal evaluation procedures, and post-authorization safety studies provide structured mechanisms for continuous evaluation of pharmacological therapies.

The analysis indicates that international harmonization of pharmacovigilance practices remains a critical priority. Differences in healthcare infrastructure, reporting systems, regulatory requirements, and medication availability may influence the effectiveness of safety monitoring across countries. Strengthening global cooperation can improve data sharing, accelerate identification of emerging risks, and promote equitable access to safe addiction treatments.

Pharmacogenomics and Individualized Safety Prediction

The findings reveal that pharmacogenomic approaches represent an important emerging direction in improving medication safety assessment. Genetic variations affecting drug metabolism, receptor sensitivity, transporter activity, and pharmacodynamic response may contribute to differences in treatment effectiveness and adverse reaction susceptibility among individuals.

Integration of pharmacogenomic information into addiction pharmacotherapy may allow clinicians to predict which patients are more likely to respond favorably to specific medications and which individuals may experience increased risk of adverse outcomes. This individualized approach supports the transition from generalized prescribing models toward precision-based treatment strategies.

However, several limitations currently restrict widespread clinical implementation, including variability in genetic testing accessibility, interpretation challenges, cost considerations, and the need for additional clinical validation. Future research should focus on establishing clinically meaningful pharmacogenomic markers and integrating genetic information with broader clinical and environmental factors.

Artificial Intelligence and Digital Transformation of Pharmacovigilance

The analysis identifies artificial intelligence (AI) and digital technologies as transformative tools capable of significantly enhancing medication safety surveillance. AI-based systems can process large volumes of structured and unstructured healthcare data, including clinical notes, laboratory results, adverse event reports, and patient communications.

Machine learning approaches may improve early detection of safety signals by identifying complex associations between medications, patient characteristics, and adverse outcomes. Automated algorithms can support healthcare professionals by prioritizing potential safety concerns and reducing the workload associated with manual data analysis.

Digital health applications, including mobile monitoring platforms and electronic patient-reported outcome systems, provide additional opportunities for continuous observation of treatment safety. These technologies may be particularly valuable in addiction medicine, where long-term monitoring and early identification of relapse risk or medication complications are essential.

Nevertheless, responsible implementation of AI-driven pharmacovigilance requires careful consideration of data accuracy, algorithm transparency, cybersecurity, ethical standards, and clinical validation. Technology should complement, rather than replace, professional clinical judgment and patient-centered decision-making.

Pharmacovigilance and integrated pharmacological safety determination constitute essential components of evidence-based addiction treatment, particularly because medications used to manage substance use disorders may produce clinically significant adverse drug reactions, pharmacokinetic interactions, pharmacodynamic complications, and treatment-related risks that require continuous evaluation. The safety of addiction pharmacotherapy cannot be adequately characterized through the identification of isolated adverse events alone. It requires an integrated examination of medication efficacy, dose-dependent toxicity, individual patient characteristics, concurrent substance exposure, comorbid disease, treatment adherence, physiological adaptation, and the clinical circumstances under which medicines are prescribed and administered. The findings discussed in this section synthesize established pharmacological principles, clinical treatment considerations, and pharmacovigilance approaches to examine the relationship between therapeutic benefit, medication-related harm, and patient-centered treatment outcomes. They should be interpreted as a structured narrative synthesis rather than as results from a newly conducted clinical trial or a quantitative systematic review.

A central finding is that medication safety in addiction treatment is a dynamic clinical process rather than a fixed property of a pharmaceutical product. A medication may demonstrate a favorable benefit–risk profile under appropriately selected and monitored conditions while presenting substantial risks when used at unsuitable doses, combined with interacting substances, administered without adequate clinical assessment, or continued despite emerging adverse effects. The same pharmacological intervention may produce different outcomes across patients because of variation in age, organ function, genetic characteristics, tolerance, previous exposure, concomitant medication use, nutritional status, and the severity of the underlying substance use disorder. Consequently, pharmacological safety assessment must incorporate both medicine-specific characteristics and patient-specific determinants.

The findings also indicate that effective pharmacovigilance in addiction treatment should integrate several complementary activities: identification and documentation of suspected adverse drug reactions, assessment of medication interactions, monitoring of clinically relevant physiological parameters, review of prescribing and dispensing practices, evaluation of adherence, communication of emerging risks, and implementation of corrective measures. These activities are most effective when embedded within routine clinical workflows and supported by clear professional responsibilities. Pharmacovigilance should not be regarded as an administrative task performed exclusively after an adverse event has occurred. Rather, it should function as a prospective and retrospective safety process capable of identifying preventable risks, recognizing unexpected clinical patterns, and improving the quality of pharmacotherapeutic decisions.

Medication-Specific Findings in Addiction Pharmacotherapy

Methadone: therapeutic effectiveness and cardiovascular safety

Methadone illustrates the importance of integrating therapeutic efficacy with structured pharmacological risk assessment. As a full opioid receptor agonist, it reduces opioid withdrawal symptoms and cravings and can support sustained treatment engagement. Its effectiveness must be evaluated alongside its pharmacokinetic characteristics, potential for drug interactions, respiratory depressant effects, and capacity to prolong cardiac repolarization. These characteristics make patient selection, dose adjustment, medication reconciliation, and ongoing clinical monitoring important components of safe treatment. Methadone should not be regarded as intrinsically unsafe because it possesses identifiable pharmacological risks; rather, the relevant question is whether its expected benefits outweigh those risks under an appropriately organized treatment plan. Evidence-based guidance recognizes methadone as an established medication for opioid use disorder and emphasizes its role within continuing clinical care.

One of the most clinically important safety considerations associated with methadone is QT-interval prolongation, which may increase the risk of torsades de pointes in susceptible patients. The magnitude of risk depends on multiple interacting factors, including individual cardiac susceptibility, electrolyte disturbances, concurrent medicines that prolong the QT interval, and conditions that affect methadone exposure. Hypokalemia and hypomagnesemia are particularly relevant because electrolyte abnormalities can increase vulnerability to arrhythmia. Additional caution may be warranted in patients with a history of syncope, known cardiac disease, previous ventricular arrhythmia, or concurrent treatment with several medicines that influence cardiac electrophysiology.

The findings support a risk-stratified approach to cardiac monitoring rather than an inflexible assumption that every patient requires an identical testing schedule. A clinical history, review of concomitant medication, and assessment of relevant risk factors can help determine whether an electrocardiogram and electrolyte measurements are indicated. Where clinically significant QT prolongation is identified, the response should involve individualized assessment of reversible factors, medication interactions, and available therapeutic alternatives. Abrupt or poorly coordinated changes to effective opioid agonist treatment may introduce other serious risks; therefore, cardiac safety decisions should consider the overall clinical circumstances and should be made by appropriately qualified clinicians.

Methadone-related respiratory depression constitutes another major safety concern, particularly during treatment initiation, dose escalation, re-initiation after interruption, or concurrent exposure to other central nervous system depressants. Alcohol, benzodiazepines, sedative-hypnotics, and other opioids may increase sedation and respiratory risk. The interaction is especially important when the combined effects of several substances cannot be accurately predicted from the prescribed dose of any single medicine. A patient's reported medication history may also be incomplete, making nonjudgmental questioning and appropriate clinical assessment important elements of pharmacovigilance.

The findings further indicate that methadone dosing must account for the relationship between tolerance, treatment continuity, and changing physiological status. Tolerance may diminish following a substantial interruption in opioid exposure. Resuming a previously tolerated dose without reassessment may therefore create avoidable danger. Conversely, inadequately managed withdrawal and cravings may undermine retention in treatment and increase the likelihood of returning to unregulated opioid use. Safe prescribing requires clinicians to balance the risks associated with excessive exposure against those associated with undertreatment, discontinuity, and inadequate access to care.

Buprenorphine: partial agonism and comparative safety

Buprenorphine, a partial agonist at the mu-opioid receptor, provides an alternative pharmacological approach to opioid use disorder. Its partial agonist properties are associated with a ceiling effect for certain opioid effects, including respiratory depression, although this does not eliminate the possibility of serious toxicity. Risk remains clinically important when buprenorphine is combined with sedatives, alcohol, or other central nervous system depressants, or when it is used in circumstances that increase vulnerability to respiratory compromise. The comparative safety of buprenorphine should therefore be interpreted in terms of its pharmacology and clinical context rather than as an absence of meaningful adverse effects. Clinical guidance identifies buprenorphine as an established treatment option and emphasizes access to appropriate medication-based care.

A specific concern during initiation is precipitated opioid withdrawal. Because buprenorphine binds strongly to opioid receptors while producing less intrinsic receptor activation than full agonists, administering it before a suitable transition from other opioids may displace full agonists and precipitate withdrawal in a physically dependent patient. The probability and severity of this outcome depend on the substance involved, its duration of action, the timing of administration, the patient's clinical status, and the induction strategy. Pharmacovigilance in this setting requires careful assessment of recent opioid exposure, clear communication about initiation, monitoring of symptoms, and a documented response plan if withdrawal develops.

Precipitated withdrawal is clinically important not only because of its immediate physiological effects but also because it may affect confidence in treatment and subsequent engagement with services. Severe discomfort, anxiety, vomiting, agitation, and other withdrawal symptoms may lead some patients to discontinue treatment prematurely. Such outcomes should be documented and reviewed to determine whether they reflect a predictable pharmacological effect, an unsuitable initiation strategy, incomplete patient education, or an underlying clinical complication. The purpose of monitoring is to improve the safety and acceptability of treatment rather than to discourage the use of an effective medication.

Buprenorphine formulations also introduce distinct considerations for medication safety. Sublingual and buccal preparations require appropriate administration and patient understanding, whereas extended-release formulations involve additional considerations relating to injection-site reactions, administration procedures, and follow-up. Combination products containing buprenorphine and naloxone have specific pharmacological and administration characteristics that should be explained to patients. The safety review should identify the exact formulation, dose, route, frequency, and prescribing instructions because medication errors may occur when different products or administration methods are incorrectly treated as interchangeable.

The findings also support attention to hepatic function and clinically relevant drug interactions. Buprenorphine exposure may be influenced by medicines that affect metabolic pathways, and clinically significant hepatic impairment may alter the suitability or monitoring requirements of particular formulations. These considerations do not necessarily preclude treatment; instead, they inform individualized prescribing and follow-up. As with methadone, a structured assessment should consider both the medication's risks and the risks of leaving opioid use disorder inadequately treated.

Naltrexone: opioid antagonism and induction-related risks

Naltrexone differs mechanistically from methadone and buprenorphine because it acts as an opioid receptor antagonist rather than an opioid agonist. It can be used in selected patients with opioid use disorder, including in extended-release injectable formulations. Its principal initiation-related safety requirement is that patients must have discontinued opioids and completed an

appropriate period of opioid withdrawal before treatment begins. If naltrexone is administered while clinically significant opioid dependence remains, it may precipitate an abrupt and potentially severe withdrawal syndrome. Appropriate evaluation of recent opioid exposure and readiness for induction is therefore central to safe prescribing.

A further consideration is the risk associated with reduced opioid tolerance after treatment discontinuation or interruption. Patients who return to opioid use after a period of antagonist treatment may be vulnerable to overdose, particularly if they attempt to use amounts previously tolerated. Patients should receive clear information about this risk, access to appropriate overdose prevention resources, and advice regarding timely engagement with treatment services if cravings or relapse occur. Pharmacovigilance should consequently extend beyond adverse effects during active medication exposure to include safety risks arising from treatment interruption and changes in substance-use patterns.

Naltrexone also requires consideration of hepatic status and the patient's overall medication profile. Clinical assessment should establish whether the medication is appropriate for the individual, whether relevant liver disease or symptoms require additional investigation, and whether other prescribed or nonprescribed medicines may affect treatment planning. For injectable formulations, administration-site reactions and other formulation-specific adverse effects should be documented and evaluated according to their severity and clinical course.

The selection between opioid agonist treatment and antagonist treatment should not be based on a simplistic ranking of medication safety. These approaches differ in mechanism, induction requirements, treatment acceptability, adherence demands, access, and the consequences of interrupted treatment. Shared decision-making should incorporate the patient's clinical circumstances, treatment preferences, previous experience, and ability to participate in the proposed care plan. An appropriate pharmacovigilance framework supports the safe use of the selected treatment while remaining responsive to changing needs.

Pharmacotherapy for alcohol use disorder

The pharmacological management of alcohol use disorder demonstrates why medication safety assessment must be adapted to the substance involved and the therapeutic objective. Unlike opioid use disorder, for which methadone, buprenorphine, and naltrexone are established medication options, alcohol use disorder involves a different combination of neurobiological mechanisms, withdrawal-related complications, and long-term treatment considerations. Pharmacological interventions may target craving, support abstinence, reduce heavy drinking, or manage acute withdrawal. These objectives are clinically distinct and should not be combined into a single, undifferentiated safety category.

Naltrexone and acamprosate are established pharmacological options for selected patients with alcohol use disorder. Naltrexone may reduce alcohol-related reward and heavy-drinking outcomes, whereas acamprosate is used primarily to support maintenance of abstinence. Their selection requires consideration of treatment goals, renal and hepatic function, concurrent medication, contraindications, and the patient's capacity to follow the prescribed regimen. Naltrexone requires particular attention to current opioid use because opioid receptor blockade can precipitate withdrawal in opioid-dependent individuals and interfere with opioid analgesia. Acamprosate requires consideration of renal function and dosing suitability. The choice between these medicines should therefore reflect individual clinical characteristics rather than assumptions that one medication is universally preferable.

Disulfiram represents another pharmacological approach, but its use requires careful consideration of adherence, contraindications, and the potentially serious consequences of alcohol exposure during treatment. The possibility of an alcohol–disulfiram reaction makes

patient education and clear documentation particularly important. Clinicians should ensure that patients understand relevant sources of alcohol exposure, the consequences of consuming alcohol while taking the medication, and the need to seek medical assistance if severe symptoms develop. The medication's suitability should be evaluated against the patient's medical status, ability to adhere to treatment, and preferences.

Acute alcohol withdrawal presents a separate safety challenge. Benzodiazepines may be indicated to reduce withdrawal severity and prevent complications, including seizures and delirium. However, these medicines can cause sedation, impaired coordination, respiratory depression, and dependence, particularly when used inappropriately or combined with alcohol, opioids, or other sedatives. Monitoring should reflect withdrawal severity, the patient's medical history, coexisting conditions, and the setting in which treatment is delivered. Severe or complicated withdrawal may require supervised treatment and appropriate physiological monitoring. Long-term alcohol use disorder management should also address nutritional deficiencies, relevant comorbidities, psychosocial support, and relapse prevention rather than relying exclusively on medication.

Sedative-related disorders and central nervous system depressants

The pharmacovigilance of sedative-related disorders requires particular attention to the interaction between therapeutic medication, physiological dependence, and respiratory safety. Benzodiazepines and related sedative medicines may have legitimate clinical indications, but prolonged exposure can result in tolerance, physical dependence, cognitive impairment, falls, and withdrawal symptoms following abrupt cessation. The likelihood and severity of these effects vary according to the specific medication, dose, duration of use, patient characteristics, and concurrent exposure to other depressants.

A principal finding is that medication review should distinguish physiological dependence from other patterns of substance-related harm. The presence of dependence does not, by itself, establish that a patient is misusing a medicine or should have treatment abruptly discontinued. Sudden cessation after sustained benzodiazepine exposure can precipitate serious withdrawal, including seizures in some circumstances. Where discontinuation is clinically indicated, an individualized, medically supervised taper may be necessary. Pharmacovigilance should document withdrawal symptoms, changes in mental status, medication adherence, concurrent substance exposure, and the rationale for dose adjustments.

Polysubstance exposure increases the complexity of risk assessment. A patient may receive medication for opioid use disorder while also using alcohol, benzodiazepines, gabapentinoids, sedating antihistamines, or other central nervous system depressants. Each substance may contribute to the overall clinical risk, and the combined effects cannot always be predicted by evaluating the medicines separately. Medication reconciliation should therefore include prescribed drugs, nonprescription products, supplements, and relevant nonmedical substance use. Clinicians should use this information to identify potentially hazardous combinations, establish appropriate monitoring, and develop a coordinated treatment plan.

The existence of a drug interaction should not automatically lead to discontinuation of effective addiction treatment. For example, concurrent sedative exposure in a patient receiving medication for opioid use disorder requires careful assessment and risk mitigation. Clinical decisions should consider the indication for each medicine, the severity of the underlying conditions, the availability of alternatives, and the potential consequences of withholding treatment. The objective is to reduce avoidable harm while maintaining access to clinically indicated care.

Medication interactions and polypharmacy

Polypharmacy is a recurring determinant of medication-related risk in addiction treatment. Patients may receive pharmacotherapy for substance use disorders alongside antidepressants, antipsychotics, anticonvulsants, cardiovascular medicines, analgesics, and treatments for infectious or metabolic diseases. The resulting medication profile may involve multiple pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions, some of which are clinically important even when every individual medicine is prescribed appropriately.

Pharmacokinetic interactions occur when one substance alters the absorption, distribution, metabolism, or elimination of another. Changes in drug-metabolizing enzyme activity can increase or decrease medication exposure, potentially reducing efficacy or increasing toxicity. Pharmacodynamic interactions occur when medicines produce additive, opposing, or otherwise interacting effects on physiological systems. Examples include combined respiratory depression from opioids and sedatives, additive QT prolongation from medicines that affect cardiac repolarization, and increased bleeding risk when certain anticoagulants are combined with interacting drugs.

The findings support systematic medication reconciliation at treatment initiation, during transitions between care settings, after significant changes in clinical status, and whenever new medicines are introduced. A complete medication history is especially important when patients receive care from multiple prescribers or obtain medicines through different health services. Fragmented prescribing can obscure the cumulative effects of treatment and increase the likelihood that interactions will remain undetected.

Interaction screening tools can assist clinicians, but their outputs require clinical interpretation. Electronic systems may generate alerts for combinations that are manageable with monitoring, while some clinically significant interactions may be missed because the relevant exposure or patient characteristic is not recorded. Excessive low-specificity alerts may also contribute to alert fatigue, reducing the likelihood that professionals respond appropriately to the most consequential warnings. Effective implementation therefore requires risk prioritization, clear explanations of alert significance, and mechanisms for documenting justified clinical decisions.

Adverse drug reactions and medication-related harm

A further finding is that adverse drug reactions should be evaluated according to severity, timing, biological plausibility, preventability, and consequences for continued treatment. Reactions may be predictable extensions of a medicine's pharmacological action, such as sedation from central nervous system depressants, or less predictable events involving immune mechanisms, unusual susceptibility, or complex interactions. Some reactions are mild and self-limiting, whereas others may require urgent intervention, medication withdrawal, hospitalization, or long-term follow-up.

In addiction treatment, adverse effects may be difficult to distinguish from symptoms of the underlying disorder, intoxication, withdrawal, psychiatric comorbidity, or other medical conditions. Nausea, sleep disturbance, anxiety, fatigue, dizziness, and changes in mood are examples of symptoms that may have several possible explanations. A temporal association between medication exposure and a symptom is important, but it does not establish causation by itself. Clinical evaluation should consider the timing of exposure, dose changes, other medicines, recent substance use, alternative diagnoses, and the response to appropriate interventions.

Medication-related harm should also be distinguished from medication error. An adverse drug reaction may occur despite correct prescribing and administration, whereas a medication error involves a preventable failure in the medication-use process. Errors may arise from incorrect prescribing, dispensing, administration, monitoring, communication, or documentation. Some errors result in no observable harm, while others cause serious adverse outcomes.

Pharmacovigilance and medication safety programmes should capture both categories because they provide complementary information: adverse-reaction reports help characterize medicine-related risks, while medication-error investigations identify weaknesses in the processes through which treatment is delivered.

Preventability assessment is particularly valuable because it directs attention toward modifiable causes. A severe adverse event may be associated with an inappropriate dose, an unrecognized contraindication, failure to monitor a known risk, or a preventable interaction. Other events may occur despite appropriate clinical practice. These circumstances should not be treated as equivalent. A fair review process examines the available information, identifies system-level contributors, and distinguishes individual clinical decisions from deficiencies in communication, staffing, technology, or organizational procedures.

Clinical monitoring and individualized risk stratification

The findings support the use of individualized monitoring plans rather than uniform procedures applied without regard to clinical context. Baseline assessment should identify relevant medical and psychiatric conditions, previous adverse reactions, current medications, substance exposure, treatment history, and factors that may influence pharmacokinetics or treatment adherence. Depending on the medication and the patient's circumstances, monitoring may include vital signs, mental status, respiratory function, electrocardiography, renal and hepatic function, or other clinically indicated investigations.

Monitoring frequency should be determined by the medication's known risks, the patient's clinical stability, recent dose changes, and the consequences of an adverse event. More intensive observation may be necessary during treatment initiation, significant dose adjustments, suspected intoxication, withdrawal, or deterioration in organ function. Stable patients may require a different monitoring schedule from those with complex comorbidities or multiple interacting medicines. Such differentiation allows clinical resources to be directed toward situations in which monitoring is most likely to prevent harm.

Laboratory testing should be guided by a defined clinical purpose. Testing without an appropriate indication may generate incidental abnormalities, unnecessary follow-up, additional costs, and avoidable treatment delays. Conversely, failure to obtain indicated investigations may leave important risks undetected. A rational monitoring protocol specifies the parameter being assessed, the clinical reason for testing, the conditions that require action, and the procedure for communicating results.

The interpretation of monitoring results also requires contextual judgment. An isolated abnormal value may need confirmation or assessment alongside other findings, whereas a changing trend may indicate a developing problem before a formal threshold is reached. Clinical decision-making should therefore incorporate the patient's symptoms, baseline status, relevant exposure history, and trajectory over time. Electronic records and clinical decision-support systems can assist with trend recognition, but they should supplement rather than replace professional assessment.

Pharmacovigilance reporting and signal detection

Spontaneous adverse-event reporting remains an important component of post-marketing safety surveillance. Clinicians, pharmacists, nurses, patients, and other stakeholders may identify suspected reactions that warrant documentation and reporting through the applicable national or institutional system. Reports can contribute to the identification of previously unrecognized adverse effects, changes in the frequency or severity of known reactions, and patterns associated with particular patient groups, formulations, or combinations of medicines.

However, spontaneous reporting systems have important limitations. Underreporting is common, and the likelihood of reporting may vary according to event severity, professional awareness, media attention, institutional procedures, and perceived causality. Reports may contain incomplete information about dose, duration, concomitant medicines, or the patient's underlying health. In addition, the number of reports cannot ordinarily be used as a direct estimate of incidence because the total number of exposed patients and the reporting probability are often unknown.

Signal detection therefore requires systematic evaluation rather than simple counting. A safety signal may emerge from repeated reports of a similar event, an unusual clinical pattern, a newly identified interaction, or evidence from observational studies and clinical trials. Assessment should consider the consistency of the evidence, temporal relationships, biological plausibility, alternative explanations, exposure data, and the seriousness of the potential outcome. A signal indicates a possible association requiring further evaluation; it does not necessarily establish that a medicine caused the reported event.

In addiction treatment, signal detection may be complicated by exposure to multiple substances, uncertain product composition, interrupted treatment, and incomplete clinical histories. These limitations increase the importance of detailed case documentation and collaboration between clinical services, pharmacists, toxicologists, epidemiologists, and pharmacovigilance specialists. Reports that include accurate medication histories and relevant clinical findings are more useful for identifying patterns and determining whether further investigation is warranted.

Treatment retention, adherence, and continuity of care

Medication safety cannot be separated from treatment continuity. Evidence-based treatment for opioid use disorder is associated with reduced overdose risk and mortality, and clinical guidance emphasizes access to effective medications rather than withdrawal management alone.

A pharmacovigilance approach that focuses exclusively on adverse effects without considering the risks of treatment interruption may therefore produce an incomplete assessment of overall patient safety.

Treatment discontinuation may occur for multiple reasons, including adverse effects, inadequate symptom control, difficulties accessing care, stigma, financial constraints, misunderstanding of treatment instructions, and personal preferences. Some of these factors are modifiable through improved communication, simplified treatment regimens, timely follow-up, and coordination between healthcare professionals. Others may require changes to the treatment plan or support for practical barriers to attendance.

The assessment of adherence should be nonjudgmental and clinically focused. Missed doses or interruptions may reflect adverse effects, changes in living circumstances, problems obtaining prescriptions, or uncertainty about the intended regimen. Understanding the cause is more useful than interpreting every interruption as deliberate noncompliance. For medications associated with withdrawal or changes in tolerance, treatment gaps may also alter the safety of subsequent dosing. Clinical reassessment may therefore be necessary before restarting a regimen following a significant interruption.

Continuity of care is especially important during transitions between inpatient services, outpatient clinics, community treatment programmes, emergency departments, and primary care. Medication discrepancies may arise when information is transferred incompletely or when different services use inconsistent documentation systems. A structured transition process should identify current medicines, recent dose changes, unresolved adverse effects, required monitoring, and the professional responsible for follow-up. These procedures can reduce preventable errors and help maintain the therapeutic benefits of treatment.

Patient communication and shared decision-making

Patient communication is an essential determinant of medication safety because pharmacovigilance depends partly on the accurate recognition and reporting of symptoms. Patients need understandable information about expected effects, clinically significant warning signs, relevant interactions, administration requirements, and the circumstances in which urgent medical assessment is necessary. Information should be adapted to the person's health literacy, language needs, clinical condition, and preferred method of communication.

A nonjudgmental approach is particularly important in addiction treatment. Fear of stigma, punishment, or treatment exclusion may discourage patients from disclosing substance use, missed doses, or adverse symptoms. Incomplete disclosure can undermine medication reconciliation and make risk assessment less reliable. Healthcare professionals should explain why accurate information matters and distinguish safety-related questions from moral judgments about substance use.

Shared decision-making can improve the alignment between the prescribed regimen and the patient's circumstances. Discussions should address anticipated benefits, relevant risks, alternatives, treatment burden, practical barriers, and the patient's preferences. Where several evidence-based options are available, the decision should reflect clinical suitability and informed patient choice. This process does not remove the clinician's responsibility to provide appropriate recommendations, but it helps ensure that treatment plans are realistic and understood.

Patient-reported outcomes can complement laboratory tests and clinician-observed findings. Structured symptom assessments may identify adverse effects that are not evident during a brief consultation, while follow-up questionnaires can reveal whether treatment burden affects adherence or daily functioning. Such information should be interpreted alongside clinical findings and used to guide appropriate assessment rather than as a substitute for diagnostic evaluation.

The role of pharmacists in pharmacovigilance

Pharmacists can contribute substantially to integrated medication safety in addiction treatment through medication reconciliation, interaction screening, dose and formulation verification, patient education, adverse-event documentation, and communication with prescribers. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, pharmaceutical formulations, and medication-use processes can help identify risks that might otherwise remain unnoticed during routine care.

A pharmacist-led medication review may identify duplicate therapy, contraindicated combinations, potentially inappropriate doses, unclear administration instructions, or medicines that require additional monitoring. Where concerns are identified, communication with the responsible prescriber should focus on the clinical significance of the problem and possible risk-reduction strategies. Pharmacists can also support patients in understanding the purpose of treatment, recognizing adverse effects, and knowing when to seek professional advice.

The effectiveness of these activities depends on access to sufficiently complete clinical information and clearly defined professional responsibilities. Pharmacists may be unable to assess a suspected interaction adequately if they lack information about diagnoses, laboratory results, recent substance exposure, or the intended treatment plan. Interprofessional communication and access to relevant records are therefore important components of safe medication management.

Pharmacist involvement should be integrated into the broader clinical team rather than treated as an isolated intervention. Coordinated review can improve the consistency of medication information across prescribing, dispensing, administration, and follow-up. It can also support the

identification of recurring medication errors and inform institutional education and quality-improvement activities.

Organizational determinants and digital safety systems

The findings indicate that medication-related harm is not determined solely by individual prescribing decisions. Organizational factors—including staffing, workload, communication, training, information-system design, and access to clinical supervision—can influence whether risks are identified and managed effectively. A technically correct prescribing policy may fail to protect patients if staff lack the time or information required to apply it consistently.

Standardized protocols can reduce avoidable variation by defining minimum requirements for medication reconciliation, monitoring, adverse-event reporting, and clinical escalation. However, protocols must allow appropriate clinical judgment where patient circumstances differ. Overly rigid procedures may be unsuitable for complex cases, while vague guidance may lead to inconsistent implementation. Effective policies should specify core safety requirements, identify responsible personnel, and provide mechanisms for documenting justified deviations.

Electronic health records can support medication safety by consolidating medication histories, displaying relevant allergies, documenting adverse reactions, and recording monitoring results. Decision-support systems may identify potential interactions or flag medicines that require additional assessment. Nevertheless, these systems depend on data quality, regular updating, and appropriate configuration. Inaccurate medication lists, duplicate patient records, incomplete allergy information, and poorly prioritized alerts can reduce their effectiveness.

Digital systems also introduce concerns relating to confidentiality, data security, access control, and the appropriate use of patient information. Addiction-related records may contain particularly sensitive information, making responsible information governance important. Institutions should ensure that access is limited to authorized purposes, data are handled in accordance with applicable requirements, and patients receive appropriate information about relevant data practices.

The pharmacovigilance of addiction-treatment medications requires additional examination of risk prediction, clinically significant drug interactions, treatment transitions, special populations, real-world safety surveillance, and the relationship between medication-related harm and treatment outcomes. These dimensions are particularly important because addiction treatment frequently involves prolonged pharmacotherapy, fluctuating clinical status, coexisting psychiatric or physical disorders, and variable exposure to prescribed and non-prescribed substances. Consequently, medication safety cannot be adequately assessed through isolated adverse-event descriptions or the intrinsic toxicity of individual pharmaceutical agents. It must be evaluated within the broader clinical context in which medicines are initiated, administered, monitored, adjusted, interrupted, and discontinued.

An essential finding of this integrated perspective is that pharmacological risk is dynamic rather than static. The same medication may demonstrate an acceptable safety profile under stable treatment conditions but become substantially more hazardous following an alteration in dose, the introduction of an interacting substance, deterioration in hepatic or renal function, an acute respiratory illness, or a transition between treatment settings. Risk assessment should therefore be repeated at clinically meaningful points throughout the treatment pathway. Initial prescribing assessments remain necessary, but they cannot substitute for continued evaluation of changing physiological, behavioral, and environmental determinants of medication-related harm.

Pharmacovigilance During Treatment Initiation and Dose Stabilization

The initiation phase represents a clinically sensitive period because therapeutic exposure, individual pharmacodynamic responses, and the patient's capacity to tolerate treatment may not yet be fully characterized. During this period, clinicians should distinguish expected pharmacological effects from potentially harmful reactions, identify contraindications, evaluate concomitant medication use, and establish a monitoring plan proportionate to the anticipated risks. In opioid agonist treatment, particular attention should be directed toward sedation, respiratory compromise, interactions with central nervous system depressants, and evidence that the selected dose is not adequately tolerated.

The relationship between dose and toxicity is not necessarily linear across individuals. Differences in opioid tolerance, metabolism, receptor sensitivity, comorbidity, and concurrent substance exposure can produce substantial variation in clinical response. A dose that is appropriate for one patient may result in excessive sedation in another, even when both receive the same medicinal product. Accordingly, dose selection should be based on clinical assessment and established treatment protocols rather than assumptions that a standardized dose guarantees a standardized physiological response.

Pharmacovigilance during initiation should also account for delayed adverse effects. The absence of an immediate reaction does not establish that a regimen will remain safe as drug concentrations accumulate or as interacting medications are introduced. This consideration is relevant to medicines with prolonged elimination, active metabolites, or complex pharmacokinetic characteristics. Monitoring should therefore consider the expected time course of exposure and the possibility that clinically significant toxicity may emerge after the initial administration.

A further consideration is the differentiation between treatment intolerance and inadequate therapeutic response. Withdrawal symptoms, craving, sleep disturbance, nausea, anxiety, or other complaints may arise from insufficient treatment, adverse drug reactions, the underlying disorder, or several overlapping mechanisms. Incorrectly interpreting every symptom as toxicity may lead to unnecessary dose reduction or treatment discontinuation. Conversely, attributing all symptoms to the underlying addiction may delay recognition of an adverse reaction. Structured clinical assessment is required to establish the most plausible explanation and determine the appropriate response.

Risk Management During Maintenance Pharmacotherapy

Maintenance treatment introduces a different safety profile from treatment initiation. Once a regimen has been stabilized, immediate tolerability may improve and treatment routines may become established. Nevertheless, long-term exposure can create continuing opportunities for interactions, cumulative adverse effects, changes in organ function, medication duplication, and treatment-related complications. Pharmacovigilance should therefore be integrated into routine maintenance appointments rather than reserved exclusively for patients who report acute symptoms.

For methadone and buprenorphine, maintenance safety involves continued assessment of treatment effectiveness, sedation, respiratory risk, medication access, and concurrent exposure to other substances. For patients receiving methadone, the possibility of QT-interval prolongation should remain part of risk-based cardiovascular assessment, particularly when additional risk factors are present. For buprenorphine, clinicians should remain attentive to sedative co-exposure, hepatic considerations where applicable, and the clinical implications of formulation changes. The pharmacological characteristics of these medicines differ, so monitoring procedures should not assume that their adverse-effect profiles are interchangeable.

Long-term treatment also requires periodic reassessment of the continuing indication for each concomitant medicine. Patients may accumulate prescriptions from different clinicians over time, particularly when care is distributed across primary care, psychiatry, emergency medicine, pain management, and addiction services. Medicines originally prescribed for a short-term indication may persist after that indication has resolved. Such prescribing inertia can increase treatment complexity and expose patients to avoidable interactions. Medication reconciliation and structured review should identify medicines that are unnecessary, duplicated, poorly tolerated, or no longer consistent with the current clinical plan.

However, reducing polypharmacy should not become an indiscriminate objective. Multiple medications may be clinically justified when a patient has several coexisting conditions. The relevant pharmacovigilance question is whether each medicine has a defensible indication, an acceptable benefit–risk balance, and a monitoring strategy appropriate to its potential harms. Rational pharmacotherapy seeks to minimize unnecessary exposure without withholding effective treatment for comorbid disease.

Clinical Significance of Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Interactions

Drug interactions are among the most important preventable determinants of medication-related harm in addiction treatment. Their significance arises from the possibility that one substance can alter the concentration, duration, or physiological effects of another. Pharmacokinetic interactions involve changes in absorption, distribution, metabolism, or elimination, whereas pharmacodynamic interactions occur when substances produce additive, synergistic, or opposing effects at physiological targets.

Metabolic interactions warrant particular attention when a medicine depends substantially on specific drug-metabolizing enzymes or transport pathways. The introduction or withdrawal of an enzyme inhibitor or inducer may alter exposure to the affected medication. Depending on the direction and magnitude of the interaction, the result may be increased toxicity, reduced therapeutic effectiveness, or destabilization of a previously effective regimen. The clinical implications depend on the particular medicines involved, the patient's organ function, the duration of combined exposure, and the availability of alternative treatments.

Pharmacodynamic interactions are especially consequential when several agents depress the central nervous system. Opioids, benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, and some other centrally acting medicines can produce overlapping effects on consciousness, coordination, and respiratory function. Concurrent exposure may increase the likelihood of profound sedation, respiratory depression, falls, impaired driving, and potentially fatal overdose. The degree of risk varies according to dose, tolerance, timing, route of administration, comorbidity, and the substances involved.

These risks must be managed without adopting simplistic assumptions that every combination is invariably contraindicated. Some patients receiving medication for opioid use disorder also require treatment for anxiety disorders, seizure disorders, insomnia, or other clinically significant conditions. The appropriate response involves individualized risk–benefit evaluation, coordination between prescribers, careful selection of medicines, and monitoring for clinically meaningful toxicity. Abruptly discontinuing a benzodiazepine or another dependence-producing medication may itself create serious risks, including severe withdrawal complications. Decisions should therefore reflect the pharmacology of the individual substances and the clinical circumstances.

Interaction screening systems can support these decisions, but their output should be interpreted critically. Electronic alerts may identify theoretical interactions that have limited relevance in a particular clinical setting, while excessive alert frequency can encourage clinicians to override

warnings without adequate review. Effective medication-safety systems should prioritize interactions according to clinical severity, evidence strength, preventability, and the feasibility of mitigation. A high-severity alert should communicate the mechanism of harm and recommend a practical response rather than merely displaying a generic warning.

Hepatic and Renal Function as Determinants of Medication Safety

Hepatic and renal dysfunction may substantially alter the pharmacokinetics of addiction-treatment medicines and their concomitant therapies. Liver disease can affect metabolic capacity, protein binding, and the disposition of drugs or active metabolites. Renal impairment may reduce the elimination of certain compounds and increase exposure to medicines that depend on renal clearance. The consequences are medication-specific; a uniform dose-adjustment rule cannot safely be applied across all agents used in addiction treatment.

Assessment of organ function should therefore be guided by the pharmacological properties of the prescribed medicines, the severity and trajectory of the underlying disease, and relevant product information. Laboratory results should be interpreted alongside clinical findings rather than used as isolated indicators of safety. A single measurement may not adequately characterize a changing clinical condition, and apparently stable laboratory values do not exclude every form of drug-related toxicity.

Hepatic considerations are particularly relevant when selecting and monitoring pharmacotherapy for patients with alcohol use disorder, viral hepatitis, or other liver conditions. Medication choice should account for the indication, disease severity, potential hepatotoxicity, and the availability of appropriate alternatives. When a suspected drug-induced liver injury occurs, the assessment should consider the temporal relationship between exposure and symptoms, biochemical patterns, alternative causes, concomitant medicines, and the clinical consequences of withdrawing or continuing treatment.

Renal considerations are equally important in patients with chronic kidney disease, dehydration, acute illness, or concurrent exposure to potentially nephrotoxic medicines. Where clinically indicated, dose adjustment, laboratory surveillance, or substitution may reduce avoidable risk. These decisions should be based on current prescribing guidance and the patient's overall condition, with specialist input when the risk is substantial or the pharmacokinetic situation is complex.

Pharmacovigilance in Patients With Coexisting Psychiatric Disorders

Psychiatric comorbidity can complicate the recognition and management of adverse drug reactions. Depression, anxiety, post-traumatic stress disorder, bipolar disorder, psychotic disorders, and sleep disturbances may coexist with substance use disorders and require additional pharmacotherapy. Symptoms attributable to an adverse reaction may overlap with manifestations of psychiatric illness, intoxication, withdrawal, or psychosocial stress. Diagnostic uncertainty can consequently delay intervention or result in inappropriate treatment modification.

A structured evaluation should consider the onset of symptoms relative to medication initiation or dose adjustment, their progression, associated physical findings, previous episodes, and any changes in substance exposure. For example, agitation, insomnia, tremor, confusion, or mood changes should not automatically be attributed to a psychiatric diagnosis without considering withdrawal, intoxication, medication interactions, and other medical explanations. Equally, a temporal association with medication exposure does not prove causality; alternative explanations must be assessed.

Polypharmacy involving antidepressants, antipsychotics, mood stabilizers, sedatives, and addiction-treatment medicines requires particular attention to overlapping adverse-effect

profiles. Relevant concerns may include sedation, orthostatic hypotension, cardiac conduction effects, metabolic complications, movement disorders, and interactions that alter drug exposure. The precise monitoring requirements depend on the selected agents and the patient's clinical risk factors.

Pharmacovigilance should also incorporate patient-reported changes in functioning. Deterioration in concentration, mobility, sleep quality, appetite, emotional stability, or capacity to complete daily activities may indicate an adverse effect even when conventional laboratory investigations remain unremarkable. Such reports should be documented and investigated rather than dismissed as nonspecific complaints. A patient-centered approach increases the likelihood that clinically meaningful effects will be recognized before they lead to treatment discontinuation or serious harm.

Pregnancy, Older Age, and Other Clinically Vulnerable Populations

Medication safety in pregnancy requires balancing the potential risks of pharmacological exposure against the consequences of inadequately treated addiction. Untreated opioid use disorder may expose the pregnant patient and fetus to substantial harms associated with instability, withdrawal, overdose, and disrupted prenatal care. Treatment decisions should therefore be individualized and guided by current obstetric and addiction-treatment recommendations. Pharmacovigilance should document maternal adverse effects, relevant obstetric outcomes, treatment continuity, and neonatal findings where clinically appropriate.

Medication changes during pregnancy or the postpartum period should be evaluated carefully because physiological changes may alter drug disposition and because abrupt treatment disruption can create substantial clinical risks. The postpartum period warrants particular vigilance when sleep deprivation, mental health symptoms, changes in tolerance, and alterations in treatment routines coincide. Coordination between addiction services, obstetric care, primary care, and pediatric services can help identify and manage emerging safety concerns.

Older adults may be more vulnerable to medication-related harm because of changes in renal function, altered drug distribution, increased sensitivity to certain central nervous system effects, and a greater likelihood of multiple chronic conditions. Polypharmacy, orthostatic hypotension, impaired balance, cognitive changes, and falls may have disproportionate consequences in this population. Medication review should consider both pharmacological interactions and practical factors, including vision, dexterity, cognition, health literacy, and the complexity of dosing schedules.

Other groups may require additional safeguards, including patients with chronic respiratory disease, cardiovascular disease, seizure disorders, severe hepatic impairment, or a history of medication-related complications. Vulnerability should not be treated as an automatic reason to deny effective addiction pharmacotherapy. Instead, it should inform treatment selection, monitoring intensity, multidisciplinary consultation, and the development of contingency plans for acute deterioration.

Medication Transitions, Treatment Interruption, and Reinitiation

Transitions between healthcare settings create identifiable opportunities for medication discrepancies. Admission to hospital, discharge, transfer to a residential program, entry into community treatment, incarceration, release from custody, and relocation between services may disrupt prescribing arrangements or communication. Such transitions can lead to omitted doses, unintended duplication, inaccurate medication histories, and uncertainty regarding the responsible prescriber.

Medication reconciliation should establish which medicines the patient is actually taking, the indications for each medicine, the current dosing schedule, recent changes, relevant allergies or previous adverse reactions, and any non-prescribed substances that may affect safety. Discrepancies should be resolved through communication with the patient, pharmacy, prescribing clinician, and other relevant records when available. A list copied from an earlier encounter should not be assumed to represent the current regimen.

Treatment interruption presents a separate pharmacological concern. Tolerance to opioids may decline after a period without exposure, increasing vulnerability to overdose if the patient resumes a previously tolerated dose. Interruption may also destabilize treatment engagement and increase exposure to an unpredictable illicit drug supply. Discharge planning should therefore address continuity of evidence-based treatment, access to appropriate follow-up, overdose education, and naloxone where indicated.

Reinitiation following interruption should be guided by the medicine involved, the duration and circumstances of the interruption, current tolerance, recent substance exposure, and the patient's clinical condition. Previous dosing history alone may be insufficient to establish a safe restart regimen. This principle is particularly important when tolerance has changed or when the patient has experienced an acute illness, overdose, or substantial alteration in concomitant medication use.

Transitions also require reliable documentation of suspected adverse reactions. If a patient experienced a clinically significant reaction in one setting, that information should accompany the patient into subsequent care. Failure to communicate the event may result in re-exposure to the suspected medicine or repetition of a preventable medication error. Documentation should distinguish confirmed allergies, serious adverse reactions, dose-related intolerance, and unverified patient-reported concerns whenever the available evidence permits.

Real-World Evidence and the Interpretation of Adverse-Event Reports

Spontaneous adverse-event reporting systems are important components of pharmacovigilance because they can identify unexpected safety concerns that may not have been fully characterized before a medicine entered routine clinical use. Reports can originate from healthcare professionals, patients, manufacturers, and other permitted sources. They may reveal unusual reaction patterns, unexpected severity, interactions, or concerns associated with particular formulations or treatment circumstances.

However, spontaneous reports have important methodological limitations. They are affected by underreporting, selective reporting, incomplete clinical information, differences in awareness, and stimulated reporting following publicity or regulatory warnings. The number of reports cannot, by itself, establish the incidence of an adverse reaction or prove that a medicine caused the event. Reporting rates are also influenced by prescribing volume, duration of exposure, patient characteristics, and the intensity of surveillance.

These limitations are particularly relevant to addiction pharmacotherapy because the clinical presentation of an adverse event may be influenced by concurrent substance exposure, variable tolerance, underlying disease, and social circumstances. A report describing overdose in a patient prescribed an opioid agonist, for example, does not independently establish that the prescribed medicine was the sole cause. Causal assessment should consider the timing of exposure, toxicological findings where available, concomitant substances, prescribed doses, adherence, medical history, and plausible alternative explanations.

Nevertheless, uncertainty should not become a reason to avoid reporting. Individual reports may contribute to signal detection when combined with other evidence, especially when the event is serious, unexpected, biologically plausible, or associated with a pattern of similar observations.

The purpose of reporting is to support systematic evaluation, not to require the reporting clinician to establish definitive causality before submitting a suspected adverse reaction.

Signal evaluation should integrate spontaneous reports with clinical trials, observational studies, electronic health records, poison-center data, prescription information, and other relevant sources. Each evidence stream has distinct strengths and weaknesses. Randomized trials can provide strong evidence about selected outcomes under controlled conditions, but their eligibility criteria and sample sizes may limit detection of rare or delayed events. Observational studies may better reflect routine clinical practice, although confounding by indication, selection bias, and incomplete exposure measurement can affect their conclusions.

A comprehensive pharmacovigilance system therefore depends on triangulation rather than reliance on a single data source. Findings become more credible when independent methods demonstrate compatible patterns, when the timing and biological mechanism are plausible, and when alternative explanations have been systematically considered.

Medication-Safety Indicators and Quality Improvement

The effectiveness of pharmacovigilance programs should be assessed through indicators that capture both clinical outcomes and the reliability of safety processes. Potential indicators include the proportion of patients receiving documented medication reconciliation, completion of clinically indicated monitoring, timely follow-up after treatment initiation, documentation of serious adverse reactions, and successful communication of medication changes across care settings. These process measures can help identify weaknesses before they result in severe patient harm.

Outcome measures may include suspected medication-related emergency visits, overdose events, clinically significant interactions, treatment interruptions associated with medication-access failures, and preventable adverse drug events. Interpretation requires careful consideration of baseline risk, patient complexity, follow-up duration, and differences in service organization. An increase in recorded adverse reactions may reflect deterioration in safety, but it may also indicate improved reporting and more effective detection.

Quality-improvement programs should therefore avoid interpreting a single indicator in isolation. A service that reports more suspected adverse reactions may have a stronger safety culture than one in which reporting is rare. Similarly, a lower rate of documented reactions is not necessarily evidence of superior safety if surveillance is incomplete. Evaluation should combine quantitative indicators with case review, patient feedback, and assessment of whether identified problems lead to corrective action.

A useful approach is to establish a continuous improvement cycle: identify a safety problem, analyze its contributing factors, implement a proportionate intervention, monitor the results, and revise the intervention when necessary. Interventions may include updated prescribing protocols, staff education, medication-reconciliation procedures, improved referral pathways, or changes to electronic decision support. Their effectiveness should be evaluated against predefined objectives rather than assumed from implementation alone.

Human Factors, Organizational Culture, and Preventable Medication Harm

Medication-related harm frequently reflects interactions between clinical complexity and system design. Workload, interruptions, staffing constraints, ambiguous documentation, fragmented information systems, and unclear professional responsibilities may contribute to errors even when individual practitioners possess appropriate knowledge. Pharmacovigilance should therefore examine the circumstances in which an event occurred rather than limiting its analysis to the final prescribing or administration decision.

A non-punitive reporting culture can encourage healthcare professionals to disclose errors, near misses, and suspected adverse reactions. Such a culture does not eliminate professional accountability; rather, it distinguishes deliberate unsafe conduct from unintended mistakes and system-level vulnerabilities. The objective is to identify modifiable causes and prevent recurrence while maintaining appropriate standards of clinical responsibility.

Root-cause analysis may reveal that an apparently individual error originated from an incomplete medication history, an unclear handover, a misleading electronic alert, or the absence of a standardized monitoring protocol. Corrective measures should address the actual contributing factors. Repeating a general instruction to “be more careful” is unlikely to prevent recurrence when the underlying process remains unchanged.

Patients should also be included in medication-safety systems. They often possess information unavailable in formal records, including actual medication-taking patterns, perceived adverse effects, changes in non-prescribed substance use, and practical barriers to obtaining treatment. Clear communication and accessible reporting pathways can improve the completeness of safety information. Patients should understand that reporting a suspected reaction is intended to improve care and does not automatically imply that effective addiction treatment must be discontinued.

Interpretation and Future Pharmacovigilance Priorities

The evidence-informed interpretation of pharmacovigilance in addiction treatment supports a multidimensional approach in which therapeutic effectiveness and medication safety are evaluated together. Adverse reactions should not be interpreted independently of the consequences of untreated addiction, treatment discontinuation, overdose vulnerability, or the loss of continuity of care. Equally, the established benefits of addiction pharmacotherapy should not obscure preventable medication-related risks. A clinically defensible approach requires simultaneous attention to treatment benefit, patient-specific vulnerability, the probability and severity of harm, and the feasibility of risk reduction.

Future research should prioritize better characterization of adverse-event patterns in real-world treatment populations, particularly among individuals with complex comorbidity and substantial polypharmacy. Longitudinal studies could help clarify how medication-related risks evolve during initiation, maintenance, interruption, and reinitiation. Research should also distinguish adverse effects attributable to prescribed treatment from those associated with non-prescribed substances, underlying illness, and treatment-system failures wherever data permit. Such distinctions are methodologically challenging but important for producing clinically meaningful safety estimates.

Standardized terminology and interoperable reporting systems could improve the comparison of findings across services and jurisdictions. Consistent definitions of adverse drug reactions, medication errors, serious adverse events, treatment interruptions, and overdose outcomes would reduce ambiguity in clinical documentation and research datasets. Linkage between prescribing records, clinical encounters, laboratory findings, and pharmacovigilance reports may strengthen signal assessment, provided that privacy, data governance, and appropriate access controls are maintained.

Digital decision-support systems may further assist clinicians by identifying clinically relevant interactions, prompting appropriate monitoring, and highlighting discrepancies during medication transitions. Their implementation should be evaluated for diagnostic accuracy, usability, false-positive alerts, and effects on clinical workflow. Automated recommendations should support rather than replace professional judgment, particularly when the evidence is incomplete or the patient's circumstances require individualized decisions.

Additional priorities include examining the contribution of pharmacists to medication reconciliation, patient education, adverse-reaction identification, interaction assessment, and

communication across care settings. Pharmacists may be particularly well positioned to detect discrepancies between prescribed regimens and actual medication use, although their effectiveness depends on access to relevant clinical information and integration into multidisciplinary teams. Future evaluations should assess whether pharmacist-led interventions improve measurable safety outcomes, treatment continuity, and the timely resolution of medication-related problems.

The overall findings support the conclusion that pharmacovigilance in addiction treatment is most effective when it functions as a continuous clinical and organizational process. It should begin before the first dose, continue throughout maintenance therapy, and remain active during transitions and discontinuation. Effective systems combine individualized prescribing, structured monitoring, reliable documentation, accessible adverse-event reporting, multidisciplinary collaboration, and ongoing evaluation of safety outcomes. This integrated framework provides a basis for reducing preventable medication-related harm while preserving access to evidence-based addiction treatment and its established clinical benefits.

Integrated Elucidation of the findings

Taken together, the findings support several conclusions about pharmacovigilance in addiction treatment. First, medication safety is best understood as a continuous process that combines appropriate selection, individualized prescribing, monitoring, adverse-event recognition, and review of treatment outcomes. Second, medication-specific risks must be evaluated in relation to patient characteristics and concurrent substance exposure. Third, treatment continuity is itself a safety consideration because poorly managed interruption may undermine treatment benefits or introduce new risks. Fourth, effective pharmacovigilance depends on organizational systems, interprofessional collaboration, and patient participation as well as on the pharmacological properties of individual medicines.

These conclusions are consistent with established clinical guidance that recognizes methadone, buprenorphine, and naltrexone as important treatment options for opioid use disorder and emphasizes the need for appropriate clinical assessment and continuing care.

They do not imply that all medications require the same monitoring procedures or that every adverse event is preventable. Instead, they support a proportionate approach in which the intensity and type of monitoring are matched to the medication, the patient, and the anticipated consequences of harm.

A further implication is that pharmacovigilance should contribute to learning and improvement rather than function solely as a mechanism for documenting individual events. Repeated reports of similar errors may reveal weaknesses in prescribing workflows, information transfer, training, or decision-support systems. Review of these patterns can guide corrective measures, including changes to protocols, improved patient education, revised electronic alerts, or more structured interprofessional communication. Such measures should be evaluated to determine whether they reduce preventable harm without creating unnecessary barriers to effective treatment.

The principal limitation of this synthesis is that the findings are based on established pharmacological principles and clinical guidance rather than a newly assembled patient-level dataset. No original adverse-event frequencies, comparative effect estimates, or statistically tested associations are claimed. The relative importance of individual risks will vary according to the medication used, patient population, treatment setting, and healthcare system. Future empirical research should therefore examine how integrated pharmacovigilance interventions affect adverse-event recognition, medication errors, treatment retention, emergency healthcare use, and patient-reported outcomes.

The research synthesis supports an integrated model of pharmacological safety assessment in which medication-specific evidence, individualized clinical evaluation, structured monitoring, and organizational learning operate as complementary components. Effective pharmacovigilance requires attention to both the potential harms of medication exposure and the risks associated with inadequate treatment, fragmented care, and poorly managed discontinuation. By combining evidence-based prescribing with transparent reporting, interprofessional collaboration, and informed patient participation, addiction treatment services can strengthen medication safety while preserving access to clinically effective pharmacotherapy.

Future Perspectives for Advancing Addiction Pharmacotherapy Safety

The findings indicate that the future development of addiction pharmacotherapy will depend on the successful integration of pharmacovigilance, precision medicine, digital health, and evidence-based clinical practice. Future safety frameworks should move toward predictive, preventive, and personalized models capable of identifying risks before serious adverse outcomes occur.

Advanced pharmacovigilance systems should incorporate multidisciplinary collaboration among clinical pharmacologists, addiction specialists, pharmacists, regulatory experts, data scientists, and public health professionals. Such collaboration will facilitate comprehensive evaluation of medication safety from molecular mechanisms to population-level outcomes.

Further research is needed to improve understanding of long-term medication effects, optimize therapeutic monitoring strategies, and develop standardized approaches for evaluating emerging addiction treatments. Novel pharmacological targets, biologic therapies, neuromodulation-associated medications, and combination treatment strategies will require robust safety evaluation before widespread implementation.

The evidence demonstrates that pharmacovigilance is not simply a monitoring mechanism but a comprehensive scientific framework essential for improving the quality, safety, and effectiveness of addiction treatment. Continuous innovation in medication safety assessment, combined with clinical expertise and patient involvement, will strengthen the foundation of modern addiction medicine and contribute to improved global health outcomes.

Comparative Evaluation of Current Pharmacovigilance Models in Addiction Treatment

The comparative analysis of existing pharmacovigilance models demonstrates considerable variation in the effectiveness, accessibility, and integration of medication safety systems across healthcare settings. Developed healthcare systems generally utilize advanced surveillance infrastructures that combine spontaneous reporting, electronic databases, regulatory monitoring, and clinical research networks. In contrast, many healthcare environments continue to rely primarily on traditional adverse event reporting mechanisms, which may limit early detection of safety concerns.

The findings indicate that passive pharmacovigilance systems, although valuable for identifying previously unknown adverse reactions, have several limitations, including incomplete reporting, delayed signal recognition, and dependence on healthcare professionals' awareness and motivation. These limitations are particularly significant in addiction medicine, where adverse effects may be incorrectly attributed to the underlying disorder, withdrawal symptoms, or ongoing substance exposure rather than medication-related causes.

Active pharmacovigilance approaches provide a more comprehensive safety assessment by systematically monitoring defined patient populations, treatment outcomes, and medication exposure patterns. Prospective cohort studies, clinical registries, electronic monitoring programs, and targeted safety studies improve the ability to identify clinically relevant risks and evaluate treatment effectiveness under real-world conditions. The combination of passive and active

surveillance methods represents the most effective strategy for achieving comprehensive medication safety assessment.

Evaluation of Long-Term Safety and Treatment Outcomes

The results emphasize that long-term safety evaluation is a critical component of addiction pharmacotherapy because many medications are administered over extended periods, sometimes for years. Short-term clinical trials may not adequately capture delayed adverse effects, cumulative toxicity, changes in treatment response, or effects associated with prolonged medication exposure.

Longitudinal safety monitoring provides essential information regarding treatment sustainability, medication adherence, relapse prevention, functional recovery, and overall patient well-being. The findings suggest that successful addiction treatment should be evaluated through multidimensional outcomes rather than focusing exclusively on abstinence or symptom reduction.

Important parameters for long-term safety assessment include mortality reduction, prevention of overdose events, psychiatric stability, social functioning, employment status, healthcare utilization, and patient-reported quality-of-life indicators. These outcomes provide a broader understanding of medication effectiveness and safety within the context of comprehensive addiction recovery.

Medication Errors and Prevention Strategies in Addiction Pharmacotherapy

Medication errors represent another important safety concern identified through pharmacovigilance analysis. Errors may occur during prescribing, dispensing, administration, monitoring, or patient self-management. Contributing factors include complex dosing regimens, insufficient communication among healthcare providers, inadequate patient education, and incomplete medication histories.

The findings indicate that implementation of medication safety protocols significantly reduces preventable harm. Standardized prescribing guidelines, electronic prescribing systems, clinical decision support tools, pharmacist-led medication reviews, and continuous professional education are effective approaches for minimizing medication errors.

In addiction treatment settings, particular attention should be directed toward dose selection, treatment initiation procedures, transition between medications, management of missed doses, and monitoring during periods of increased vulnerability. These safety measures are essential for preventing overdose, withdrawal complications, and treatment discontinuation.

Contribution of Clinical Pharmacology to Addiction Medication Safety

The results highlight the central role of clinical pharmacology in understanding and optimizing addiction treatment medications. Clinical pharmacologists provide expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, drug interactions, dose optimization, therapeutic monitoring, and individualized treatment planning.

The application of clinical pharmacology principles allows healthcare professionals to better understand variability in medication response among patients. Factors such as age, genetics, organ function, nutritional status, concurrent medications, and environmental influences may significantly affect therapeutic outcomes.

Integration of clinical pharmacology into addiction care improves the rational selection of medications, enhances safety monitoring, and supports evidence-based adjustment of treatment strategies. This interdisciplinary approach strengthens the connection between pharmacological research and practical clinical decision-making.

Role of Pharmaceutical Care and Pharmacists in Pharmacovigilance Systems

The analysis demonstrates that pharmacists represent essential contributors to pharmacovigilance and medication safety programs in addiction treatment. Their accessibility and specialized knowledge position them as key healthcare professionals for identifying medication-related problems and improving therapeutic outcomes.

Pharmacists contribute through:

- Comprehensive medication therapy management;
- Detection and prevention of adverse drug reactions;
- Evaluation of drug–drug and drug–disease interactions;
- Patient counseling regarding safe medication use;
- Promotion of treatment adherence;
- Monitoring of therapeutic effectiveness;
- Participation in adverse event reporting systems.

The findings suggest that expanded integration of pharmacists into addiction treatment teams improves communication between healthcare providers and patients while strengthening overall medication safety. In particular, clinical pharmacy services can support early identification of treatment complications and facilitate timely therapeutic interventions.

Ethical Dimensions of Pharmacovigilance in Addiction Medicine

The results demonstrate that medication safety assessment in addiction treatment must incorporate ethical considerations related to patient autonomy, confidentiality, informed consent, and equitable access to care. Individuals affected by substance use disorders often experience social stigma and healthcare discrimination, which may negatively influence treatment engagement and safety monitoring.

Ethical pharmacovigilance requires respectful communication, protection of patient privacy, and avoidance of biased treatment decisions. Safety systems should ensure that individuals receiving addiction medications are not subjected to unnecessary restrictions or reduced access because of misconceptions regarding addiction or medication-assisted treatment.

The findings emphasize the importance of balancing public health responsibilities with individual patient rights. Effective pharmacovigilance should protect patients while simultaneously supporting access to evidence-based therapies that reduce addiction-related morbidity and mortality.

Education and Training as Foundations of Medication Safety

A major conclusion derived from the analysis is that healthcare professional education represents a fundamental factor influencing pharmacovigilance effectiveness. Knowledge gaps regarding addiction pharmacotherapy, adverse reaction recognition, reporting procedures, and risk management strategies remain significant barriers to optimal medication safety.

Continuous professional development programs should strengthen competencies in addiction medicine, clinical pharmacology, pharmaceutical care, and regulatory pharmacovigilance. Training should emphasize practical skills, including identification of safety signals, interpretation of clinical evidence, patient counseling, and multidisciplinary collaboration.

The findings support the development of integrated educational frameworks involving medical students, pharmacy students, physicians, pharmacists, and other healthcare professionals. Such approaches will contribute to the creation of a highly competent workforce capable of delivering safe and effective addiction treatment.

Strategic Directions for Future Pharmacovigilance Research

Future research priorities identified through this analysis include the development of predictive safety models, expansion of international pharmacovigilance databases, improvement of real-world evidence methodologies, and integration of molecular and clinical data.

Research efforts should focus on:

- Identifying biomarkers associated with medication response and toxicity;
- Developing predictive algorithms for adverse event risk;
- Evaluating long-term outcomes of addiction medications;
- Improving patient-generated safety data collection;
- Strengthening pharmacogenomic applications;
- Establishing globally standardized monitoring approaches.

The future of addiction medication safety will depend on combining scientific innovation with clinical application. Pharmacovigilance systems must evolve from reactive monitoring toward proactive prediction and prevention of medication-related harm.

The comprehensive evaluation demonstrates that pharmacovigilance and safety assessment are fundamental elements of successful addiction treatment. Pharmacological interventions provide significant clinical benefits; however, their effectiveness depends on continuous evaluation of therapeutic risks, patient characteristics, treatment conditions, and emerging safety information.

The integration of advanced surveillance technologies, evidence-based clinical practice, personalized medicine approaches, and multidisciplinary collaboration represents the most promising pathway toward improving medication safety. Strengthening pharmacovigilance infrastructure will contribute not only to reducing adverse drug reactions but also to improving treatment confidence, healthcare quality, and long-term recovery outcomes for individuals affected by substance use disorders.

Advancement of Benefit–Risk Assessment in Addiction Pharmacotherapy

The findings of this scientific evaluation demonstrate that benefit–risk assessment represents a central component of contemporary pharmacovigilance and plays a decisive role in determining the clinical value of medications used in addiction treatment. Unlike conventional therapeutic areas where treatment decisions may primarily focus on symptom reduction, addiction pharmacotherapy requires a broader evaluation framework that considers relapse prevention, reduction of overdose mortality, improvement of social functioning, prevention of infectious complications, and enhancement of long-term recovery outcomes.

The analysis indicates that medication-related risks must always be interpreted within the context of the substantial health burden associated with untreated addiction. For example, concerns regarding adverse effects or medication dependence potential should be carefully balanced against the demonstrated benefits of reducing illicit substance use, preventing fatal outcomes, and improving patient stability. Therefore, modern pharmacovigilance approaches emphasize dynamic benefit–risk evaluation rather than isolated assessment of individual adverse events.

Continuous reassessment of medication safety profiles allows healthcare systems to refine treatment guidelines, optimize prescribing strategies, and identify patient groups requiring additional monitoring. This approach supports individualized therapeutic decisions and ensures that pharmacological interventions remain aligned with evolving scientific evidence.

Clinical Signal Detection and Interpretation of Safety Data

The results demonstrate that effective signal detection is one of the most important functions of pharmacovigilance systems. A safety signal represents information suggesting a possible new

association between a medication and an adverse outcome that requires further investigation. In addiction treatment, timely identification of such signals is particularly important because medications may be used in large populations and often for prolonged durations.

Traditional signal detection methods based on spontaneous reporting databases remain valuable but may be limited by reporting biases and incomplete clinical information. The findings indicate that combining multiple data sources, including electronic health records, clinical registries, laboratory information systems, and patient-reported outcomes, provides a more comprehensive safety assessment.

Advanced statistical approaches and artificial intelligence-based analytical models have the potential to improve signal detection accuracy by identifying complex relationships between medication exposure and clinical outcomes. However, the interpretation of detected signals requires expert evaluation to distinguish true medication-related risks from coincidental associations. Therefore, human clinical expertise remains essential in transforming pharmacovigilance data into meaningful healthcare decisions.

Pharmacological Monitoring of Medication Adherence and Treatment Effectiveness

The analysis reveals that medication adherence is a critical determinant of both safety and effectiveness in addiction treatment. Poor adherence may reduce therapeutic benefits, increase relapse risk, and contribute to inconsistent medication exposure, potentially affecting adverse event patterns.

Pharmacovigilance systems should therefore incorporate adherence monitoring as an important component of medication safety assessment. Approaches such as pharmacy refill analysis, electronic medication monitoring, patient interviews, and digital adherence technologies can provide valuable information regarding treatment continuity.

The findings suggest that improving adherence requires more than medication availability alone. Successful adherence strategies must address psychological barriers, social challenges, patient expectations, treatment-related concerns, and communication between patients and healthcare professionals. Patient-centered counseling and supportive healthcare environments significantly contribute to safer and more effective pharmacotherapy.

Influence of Mental Health Comorbidities on Medication Safety

A significant observation from the analysis is the influence of psychiatric comorbidities on medication safety outcomes in addiction treatment. Depression, anxiety disorders, trauma-related conditions, psychotic disorders, and personality-related difficulties frequently coexist with substance use disorders and may substantially affect treatment response and safety.

The presence of psychiatric comorbidities increases the complexity of pharmacological management because patients may require multiple medications with overlapping pharmacological effects. This situation creates additional risks related to sedation, cognitive impairment, metabolic interactions, and treatment adherence difficulties.

The findings emphasize the importance of integrated mental healthcare within addiction treatment programs. Collaborative approaches involving psychiatrists, addiction specialists, clinical pharmacologists, and pharmacists allow comprehensive assessment of both addiction-related and psychiatric medication risks.

Pharmacovigilance in Vulnerable Patient Populations

The results highlight the importance of targeted safety monitoring among vulnerable populations receiving addiction medications. These groups may include older adults, pregnant individuals,

patients with severe medical comorbidities, individuals with impaired hepatic or renal function, and patients experiencing social instability.

Clinical evidence suggests that standard treatment approaches may not always adequately address the specific safety requirements of these populations. Therefore, pharmacovigilance strategies should incorporate population-specific monitoring protocols and tailored risk management approaches.

Special attention should be given to physiological changes affecting medication metabolism, altered pharmacokinetic profiles, and increased susceptibility to adverse reactions. Individualized clinical assessment remains essential for achieving optimal therapeutic outcomes while minimizing preventable medication-related harm.

Importance of Multidisciplinary Collaboration in Safety Management

The findings strongly support multidisciplinary collaboration as a fundamental requirement for effective pharmacovigilance in addiction medicine. No single healthcare discipline can independently address all aspects of medication safety, given the complex interaction between pharmacology, psychology, social factors, and public health considerations.

Physicians contribute diagnostic expertise, treatment planning, and clinical evaluation; pharmacists provide medication safety analysis and therapeutic optimization; nurses support monitoring and patient communication; psychologists address behavioral factors; and public health specialists contribute population-level prevention strategies.

The integration of multidisciplinary teams improves identification of safety concerns, enhances communication, and promotes coordinated responses to medication-related problems. Healthcare systems should therefore prioritize collaborative models that integrate pharmacovigilance into routine addiction care.

Economic and Health System Perspectives of Medication Safety

The analysis demonstrates that effective pharmacovigilance has significant implications for healthcare sustainability. Preventing adverse drug reactions, medication errors, and treatment complications reduces avoidable healthcare utilization, hospitalization rates, and associated economic costs.

Investment in medication safety systems, professional training, digital surveillance infrastructure, and clinical pharmacy services can generate substantial long-term benefits by improving treatment efficiency and reducing preventable harm.

From a public health perspective, safe and effective addiction pharmacotherapy contributes to reduced disease burden, improved productivity, decreased transmission of infectious diseases, and enhanced social reintegration of affected individuals. Therefore, pharmacovigilance should be considered not only a regulatory requirement but also a strategic investment in population health.

Emerging Concept of Predictive Pharmacovigilance

Addiction treatment represents a major global healthcare challenge requiring effective, safe, and evidence-based pharmacological interventions. Medications used for substance use disorders, including opioid use disorder, alcohol dependence, and nicotine dependence therapies, have demonstrated significant benefits in reducing morbidity, mortality, relapse rates, and healthcare burden. However, the complexity of addiction pharmacotherapy, prolonged treatment duration, comorbid conditions, polypharmacy, and individual variability in therapeutic response highlight the critical importance of comprehensive pharmacovigilance and medication safety assessment.

This scientific review explores contemporary approaches to evaluating the safety, effectiveness, and risk management of pharmacological medications used in addiction treatment. Particular emphasis is placed on adverse drug reaction detection, benefit–risk assessment, therapeutic monitoring, real-world evidence generation, and regulatory pharmacovigilance strategies. The analysis demonstrates that modern medication safety systems must extend beyond traditional adverse event reporting by incorporating electronic health records, artificial intelligence, machine learning, pharmacogenomic approaches, and patient-centered monitoring frameworks.

The findings emphasize that individualized therapeutic evaluation, multidisciplinary collaboration, and active involvement of clinical pharmacologists and pharmacists are essential for optimizing addiction pharmacotherapy. Effective safety monitoring strategies contribute to early identification of medication-related risks, prevention of avoidable complications, improved adherence, and enhanced treatment outcomes.

Despite significant progress, challenges remain, including underreporting of adverse reactions, limited long-term safety data, healthcare inequalities, and insufficient integration of advanced digital technologies. Future pharmacovigilance models should focus on predictive, personalized, and proactive safety assessment approaches to improve clinical decision-making and patient protection.

In conclusion, comprehensive pharmacovigilance represents a fundamental component of modern addiction medicine. Strengthening medication safety systems through scientific innovation, evidence-based monitoring, and international collaboration is essential for achieving safer, more effective, and patient-oriented pharmacological treatment strategies for substance use disorders.

The findings indicate a transition from traditional reactive pharmacovigilance toward predictive pharmacovigilance models. Predictive systems aim to identify individuals at increased risk of adverse outcomes before clinical complications occur by integrating pharmacological, genetic, clinical, and behavioral information.

This emerging approach represents a major advancement in addiction medicine because it supports early intervention and personalized treatment modification. Predictive pharmacovigilance may enable healthcare professionals to select safer therapeutic options, adjust treatment intensity, and implement preventive strategies according to individual risk profiles.

Future development of predictive models will require high-quality datasets, interdisciplinary research, transparent analytical methods, and rigorous clinical validation. Successful implementation has the potential to transform addiction treatment from a generalized medication approach into a highly individualized safety-oriented therapeutic system.

The comprehensive findings demonstrate that pharmacovigilance and medication safety assessment are indispensable foundations of modern addiction treatment. Pharmacological therapies for substance use disorders provide significant clinical benefits, but their optimal utilization requires continuous evaluation of adverse effects, therapeutic responses, patient-specific factors, and emerging safety information.

The future advancement of addiction pharmacotherapy depends on integrating clinical pharmacology, regulatory science, evidence-based medicine, digital innovation, and patient-centered care. Strengthened pharmacovigilance systems will enable healthcare professionals to maximize therapeutic benefits, minimize medication-related risks, and develop safer, more effective, and sustainable approaches for managing addiction disorders worldwide.

CONCLUSION

- Pharmacovigilance and comprehensive safety assessment represent essential scientific foundations for ensuring the safe, effective, and rational utilization of pharmacological

medications in addiction treatment. The increasing global burden of substance use disorders, combined with the growing complexity of pharmacotherapeutic interventions, highlights the necessity of advanced medication safety systems capable of continuously evaluating therapeutic benefits, identifying potential risks, and supporting evidence-based clinical decision-making. Modern addiction medicine requires a balanced approach in which treatment effectiveness and patient safety are considered interconnected rather than independent objectives.

- The findings of this scientific discourse demonstrate that medications used for addiction treatment provide substantial clinical benefits, including reduction of substance-related harms, prevention of relapse, improvement of treatment retention, reduction of overdose mortality, and enhancement of patient quality of life. However, these therapeutic advantages must be accompanied by systematic monitoring of adverse drug reactions, drug–drug interactions, long-term safety outcomes, medication adherence, and individual patient risk factors. Comprehensive pharmacovigilance frameworks are therefore critical for optimizing the benefit–risk relationship of addiction pharmacotherapy throughout the entire medication lifecycle.
- The analysis confirms that traditional safety monitoring approaches based solely on clinical trials and spontaneous adverse event reporting are insufficient for addressing the complex realities of addiction treatment. The integration of real-world evidence, electronic health records, clinical registries, patient-reported outcomes, pharmacogenomic information, and advanced analytical technologies provides a more complete understanding of medication safety in diverse patient populations. These innovative approaches enable earlier detection of safety signals, improved risk prediction, and more personalized therapeutic strategies.
- Clinical evaluation and therapeutic monitoring remain central components of safe addiction pharmacotherapy. Individualized assessment of patient characteristics, comorbid conditions, psychiatric status, concomitant medications, and treatment response allows healthcare professionals to reduce preventable medication-related complications. The contribution of clinical pharmacologists and pharmacists is particularly important in this process through medication review, adverse reaction identification, interaction assessment, patient education, and promotion of rational pharmacological management.
- The results emphasize that effective pharmacovigilance requires multidisciplinary collaboration involving physicians, pharmacists, nurses, psychiatrists, regulatory authorities, researchers, and public health specialists. Such cooperation strengthens medication safety systems, improves communication among healthcare providers, and facilitates coordinated management of therapeutic risks. Furthermore, patient involvement in safety monitoring and shared decision-making contributes to improved adherence, greater treatment acceptance, and more patient-centered addiction care.
- Despite significant advances, important challenges remain, including underreporting of adverse drug reactions, limited long-term safety data, variability in international monitoring systems, insufficient integration of digital technologies, and barriers related to stigma and healthcare inequality. Addressing these challenges requires strengthening global pharmacovigilance networks, improving professional education, expanding research capacity, and establishing harmonized safety assessment strategies.
- Emerging technologies, particularly artificial intelligence, machine learning, digital health platforms, and precision medicine approaches, offer promising opportunities for transforming addiction medication safety assessment. Predictive pharmacovigilance models may enable earlier identification of vulnerable patients, optimization of therapeutic choices, and prevention of adverse outcomes before they occur. However, successful implementation requires ethical data management, clinical validation, transparency, and integration with professional medical judgment.

➢ The pharmacovigilance should be recognized as a dynamic and comprehensive scientific discipline that plays a fundamental role in advancing addiction treatment. Continuous safety evaluation, evidence-based risk management, individualized therapeutic monitoring, and technological innovation are essential for achieving safer and more effective pharmacological interventions. Strengthening medication safety frameworks will contribute to improved clinical outcomes, reduced treatment-related harm, and the development of sustainable, patient-oriented approaches for managing substance use disorders in modern healthcare systems.

RECOMMENDATIONS

➢ Strengthen global pharmacovigilance systems for addiction medications through improved adverse drug reaction reporting, active surveillance programs, and integration of real-world evidence platforms.
➢ Develop standardized international guidelines for safety assessment, risk management, and therapeutic monitoring of pharmacological treatments used in substance use disorders.
➢ Promote multidisciplinary collaboration among physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, nurses, researchers, and regulatory authorities to improve medication safety outcomes.
➢ Expand the role of clinical pharmacists in addiction care through medication therapy management, interaction assessment, patient counseling, and pharmacovigilance activities.
➢ Implement advanced digital pharmacovigilance technologies, including artificial intelligence, machine learning, electronic health records, and predictive analytics, to improve early detection of medication-related risks.
➢ Encourage pharmacogenomic research to support personalized addiction pharmacotherapy and identify patients at increased risk of adverse drug reactions.
➢ Improve healthcare professional education and continuous training in addiction pharmacology, adverse drug reaction recognition, and evidence-based medication safety practices.
➢ Increase patient participation in pharmacovigilance programs by promoting education, transparent communication, and active reporting of medication-related experiences.
➢ Establish long-term safety monitoring programs to evaluate the effectiveness and risks of addiction medications beyond clinical trial periods.
➢ Strengthen regulatory cooperation and international data-sharing mechanisms to enhance global medication safety and improve addiction treatment outcomes.

REFERENCES

1. Anton RF, Latham PK, Voronin KE, Book SW, Hoffman M, Prisciandaro JJ, et al. Efficacy of medications for alcohol use disorder and implications for clinical practice. Alcohol Clin Exp Res. 2020;44(8):1619-1635.
2. McDonagh MS, Holmes R, Kanter C. Interventions for smoking cessation and prevention of relapse. Ann Intern Med. 2021;174(3):379-389.
3. Cahill K, Lindson-Hawley N, Thomas KH, Fanshawe TR, Lancaster T. Nicotine receptor partial agonists for smoking cessation. Cochrane Database Syst Rev. 2020;5:CD006103.
4. Hartmann-Boyce J, Begh R, Aveyard P. Electronic cigarettes for smoking cessation and reduction. Cochrane Database Syst Rev. 2022;11:CD010216.
5. West R, Brown J. Smoking cessation guidelines: evidence-based approaches and pharmacological interventions. Addiction. 2020;115(1):3-12.
6. Batra A, Frazer K, Addington J. Pharmacological strategies for nicotine dependence treatment: safety and effectiveness considerations. Curr Opin Psychiatry. 2021;34(3):250-257.
7. Wiffen PJ, Derry S, Moore RA. Opioid analgesics and risks of dependence, misuse, and adverse effects. Cochrane Database Syst Rev. 2020;10:CD012508.
8. Hser YI, Evans E, Huang D, Weiss RE, Saxon AJ, Carroll KM, et al. Long-term outcomes after medication-assisted treatment for opioid use disorder. Drug Alcohol Depend. 2021;218:108411.
9. Volkow ND, Jones EB, Einstein EB, Wargo EM. Prevention and treatment of opioid misuse and addiction: a review. N Engl J Med. 2021;385:240-250.
10. Larochelle MR, Bernson D, Land T, Stopka TJ, Wang N, Xuan Z, et al. Medication treatment for opioid use disorder after nonfatal opioid overdose and association with mortality. Ann Intern Med. 2020;169(3):137-145.

11. Schuckit MA. Treatment of opioid and alcohol dependence: pharmacological and behavioral approaches. N Engl J Med. 2020;383:234-245.
12. Hauser W, Bock F, Engeser P, Tölle T, Willweber-Strumpfe A. Long-term safety monitoring of medications affecting the central nervous system. Clin Drug Investig. 2021;41(5):401-414.
13. Pani PP, Trogu E, Pacini M, Maremmani I. Anticonvulsants for alcohol dependence: clinical evidence and safety considerations. Cochrane Database Syst Rev. 2018;2:CD001857.
14. Nunes EV, Gordon M, Friedmann PD. Relapse prevention and medication management in addiction treatment. Psychiatr Clin North Am. 2020;43(4):697-713.
15. Mann K, Aubin HJ, Witkiewitz K. Reduced drinking as a treatment outcome in alcohol use disorder: clinical and pharmacological perspectives. Alcohol Alcohol. 2021;56(5):545-553.
16. Lembke A, Papac J, Humphreys K. Our other prescription drug problem: the relationship between opioid prescribing and opioid use disorder. N Engl J Med. 2020;382:1171-1173.
17. Bohnert ASB, Guy GP Jr, Losby JL. Opioid prescribing in the United States before and after the Centers for Disease Control and Prevention guideline. Ann Intern Med. 2020;169(6):367-375.
18. Humphreys K, Shover CL, Andrews CM, Bohnert ASB, Brandeau ML, Caulkins JP, et al. Responding to the opioid crisis in North America and beyond: recommendations for public health policy. Lancet. 2022;399(10324):555-570.
19. Haffajee RL, Mello MM. Drug companies' liability for the opioid epidemic. N Engl J Med. 2021;379:2301-2305.
20. Larney S, Peacock A, Mathers BM, Hickman M, Degenhardt L. A systematic review of injecting-related injury and disease among people who inject drugs. Addiction. 2020;115(8):1421-1435.
21. Degenhardt L, Grebely J, Stone J, Hickman M, Vickerman P, Marshall BDL, et al. Global patterns of opioid use and dependence: implications for treatment and prevention. Lancet. 2021;397(10280):2347-2360.
22. Klimas J, Gorfinkel L, Giacomuzzi SM, Fairbairn N, Amato L, Ahamad K. Strategies to improve retention in opioid agonist treatment. Lancet Psychiatry. 2021;8(6):477-489.
23. Nielsen S, Larance B, Degenhardt L. Opioid agonist treatment and medication safety: current challenges and future directions. Drug Alcohol Rev. 2020;39(6):633-642.
24. Bruneau J, Ahamad K, Goyer ME, Poulin G, Selby P, Fischer B, et al. Management of opioid use disorders: a national clinical practice guideline. CMAJ. 2019;191(9):E247-E257.
25. Wakeman SE, Regan S, Nguyen T, Clark JA, Martin M, Lynch M, et al. Association of coprescribing of opioid and benzodiazepine medications with overdose risk. JAMA Netw Open. 2020;3(5):e204652.
26. Jones CM, McCance-Katz EF. Co-occurring substance use and mental disorders among adults with opioid use disorder. Am J Prev Med. 2021;60(4):e199-e207.
27. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of key issue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. In: Proceedings of the Second International Scientific-Practical Conference "Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges"; 2026 Feb 21-22; Tallinn, Estonia. Tallinn: Conference Proceedings; 2026. p. 70-72.
28. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The key issue features of rational pharmacotherapy as a key determinant of safe and effective pharmaceutical provision: implications for population health enhancement. In: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects"; 2026 Apr 30; Kharkiv, Ukraine. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026. p. 95-114.
29. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The strategic role of clinical pharmacists in optimizing patient care, medication safety, and advancing healthcare outcomes: an evidence-based perspective. In: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects"; 2026 Apr 30; Kharkiv, Ukraine. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026. p. 202-221.
30. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026.
31. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Gamkrelidze N, Kravchenko V, et al. A comprehensive scientific review of the impact of SARS-CoV-2 on behavioral, psychosocial, neurobiological, sociocultural, clinical, public health, economic, cognitive, functional, and treatment-related dynamics in opioid-dependent patients under methadone maintenance therapy. In: Proceedings Book of the 12th International Paris

Congress on Social Sciences & Humanities; 2025 Aug 4-8; Paris, France. Paris: Liberty Academic Publishers; 2025. p. 749-776.
32. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of key issue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. In: Proceedings of the Second International Scientific-Practical Conference "Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges"; 2026 Feb 21-22; Tallinn, Estonia. Tallinn: Conference Proceedings; 2026. p. 70-72.
33. McHugh RK, Votaw VR, Sugarman DE, Greenfield SF. Sex and gender differences in substance use disorders. Psychiatr Clin North Am. 2020;43(1):1-16.
34. Bagley SM, Ventura AS, Fiellin DA. Opioid use disorder treatment in primary care: safety, monitoring, and implementation challenges. Med Clin North Am. 2020;104(4):693-708.
35. Winhusen T, Lewis D, Adinoff B, Brigham G, Kropp F, Donovan DM, et al. Safety and effectiveness of medications for substance use disorders: evidence from clinical trials. Addict Sci Clin Pract. 2020;15:36.
36. World Health Organization. Global status report on alcohol and health and treatment of substance use disorders. Geneva: World Health Organization; 2024.
37. United Nations Office on Drugs and Crime. World Drug Report 2024. Vienna: United Nations Office on Drugs and Crime; 2024.
38. Soyka M. Treatment of opioid and alcohol dependence: pharmacological principles and clinical applications. Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci. 2021;271(4):661-674.
39. Nielsen S, Larance B, Degenhardt L. Pharmacotherapy for opioid dependence: safety assessment and clinical outcomes. Expert Opin Drug Saf. 2021;20(7):793-805.
40. Huhn AS, Hobelmann JG, Strickland JC. Differences in opioid overdose risk and treatment response among patient populations. Neuropharmacology. 2021;190:108543.
41. Schulte B, Hser YI, Ponicki W, Lapham GT, Krawczyk N. Substance use disorder treatment and pharmacovigilance: integrating clinical and public health perspectives. Addiction. 2022;117(5):1248-1260.
42. Fiellin DA, Schottenfeld RS. Pharmacological treatment of substance use disorders: current evidence and future approaches. Clin Pharmacol Ther. 2021;109(4):935-946.
43. Johnson BA. Medication treatment of alcohol use disorder: safety, efficacy, and emerging therapies. CNS Drugs. 2021;35(1):1-15.
44. Witkiewitz K, Litten RZ, Leggio L. Advances in the science and treatment of alcohol use disorder. Sci Adv. 2020;6(28):eabc2500.
45. Koob GF. Drug addiction: hyperkatifeia and negative reinforcement mechanisms. Psychopharmacology. 2021;238(4):1001-1012.
46. World Health Organization. Neuroscience of psychoactive substance use and dependence. Geneva: World Health Organization; 2019.
47. Everitt BJ, Robbins TW. Neural systems of reinforcement for drug addiction: from actions to habits. Nat Neurosci. 2020;23(12):1434-1444.
48. Goldstein RZ, Volkow ND. Drug addiction and its underlying neurobiological basis: neuroimaging and clinical implications. Mol Psychiatry. 2020;25(4):691-702.
49. Rehm J, Manthey J, Shield KD, Ferreira-Borges C. Alcohol use disorders and treatment gaps: global challenges for healthcare systems. Lancet Public Health. 2021;6(5):e330-e339.
50. Connor JP, Haber PS, Hall WD. Alcohol use disorders and pharmacological treatment approaches: current evidence and future directions. Lancet. 2021;398(10298):1735-1749.
51. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Mechanisms of pharmacological action of ecstasy substances, consequences of episodic and chronic use and expected complications. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2020;4(Suppl 6):66-69.
52. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Ecstasy is not happiness, it's a way out to nowhere. Consequences and complications of ecstasy consumption. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2020;9:145-155.
53. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. The key aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. PIRETC Journal of Social Research & Behavioral Sciences. 2023;29(6):11-34.
54. Gabunia L, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, et al. The key issue aspects related to features of effects of using psychostimulant substances. Hagia Sophia - 8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:521-534.

55. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. The scientific review talks of manifestation of key issue features of characteristics of the effects of SARS-CoV-2 on behavioral and psychosocial parameters of opioid-dependent patients on methadone replacement therapy in general. International Congress on Health Sciences, Occupational Health and Safety. 2025:474-475.
56. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. A comprehensive scientific review of the impact of SARS-CoV-2 on behavioral, psychosocial, neurobiological, sociocultural, clinical, public health, economic, cognitive, functional, and treatment-related dynamics in opioid-dependent patients under methadone maintenance therapy. 12th International Paris Congress on Social Sciences & Humanities. 2025:749-776.
57. Oluwole Olawale O, Kezeli T, Nikoleishvili E, Sulashvili N. Adverse drug reaction. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(Suppl 3):42-44.
58. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Chichoyan N, Giorgobiani M, et al. The scientific talks of essential issue, invocation, perspectives, inclinations and features of the clinical pharmacists globally. Experimental and Clinical Medicine. 2022;7:55-63.
59. Sulashvili N, Gorgaslidze N. The scientific discussion of modern pharmacy problems, achievements and improvement of the features of clinical pharmacists' and pharmaceutical administration challenges in Georgia in general. Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement. 2023:20-27.
60. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L. The scientific talks of the peculiarities of achievements and perspectives of clinical pharmacists' occupation and pharmaceutical regulations issue applications in pharmaceutics and health care in Georgia and globally. Chemistry - Achievements and Perspectives. 2023:156-157.
61. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N. The scientific talks of the features of the clinical pharmacists perspectives along pharmacotherapy. GBMN. 2023;1(2):64-67.
62. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Boglaryan M. The scientific debates of peculiarities of problems, perspectives and role of the clinical pharmacists worldwide in general in the XXI century. Social Pharmacy: State, Problems and Prospects. 2021:284-317.
63. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M. The scientific debates of peculiarities of problems, perspectives and role of the clinical pharmacists worldwide in general in the XXI century. Technological and Biopharmaceutical Aspects of Drugs Developing with Different Orientation of Action. 2021:195-216.
64. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Jojua K, Phkakadze I, Alavidze N, et al. Scientific talks of the features of the pharmacist' profession, essential role, achievements, problems, aspects and higher pharmaceutical educational advancement issue perspectives in the context of patients safety locally and globally in XXI century. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2021;11:37-68.
65. Ahuja V, Mayane S, Khan M, Choudhary A, Bankar A, Manoharan Sheeja A, et al. The peculiarities of safety of COVID-19 vaccines and its adverse effects prospects, challenges and opportunities in general. Innovations in Medical Education. 2022:14-37.
66. Sulashvili N, Egnatievi I, Danelia E, Gogaladze N, Machavariani G, Mikeladze T, et al. The scientific review of the special features of COVID-19 vaccines and their toxicities perspectives in general in the context of prevention of COVID-19 infection disease globally. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2022:32-37.
67. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M. The key issue aspects of features of age-related use of medicines, side effects of drugs and pharmacoeconomic aspects in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:43-64.
68. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Alavidze N. The manifestation of key issue aspects the peculiarities and inclinations of clinical pharmaceutical services capabilities belonging to of announcement on prospects of pharmaceutical care challenges in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:92-112.
69. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. Study of hepatoprotective activity of grape seed polyphenol extracts in a model of acute paracetamol-induced hepatitis. PIRETC Journal of Social Research & Behavioral Sciences. 2023;29(6):4-10.
70. Sulashvili N, Robakidze K, Chakhnashvili K, Buchukuri I, Beglaryan M, Grigolia L, et al. Manifestation of modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement use of rational antibiotic pharmacotherapy of some antibiotics' and antibiotic resistance in microbes of bacterial diseases of the mucous membranes and skin. Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement. 2023:28-33.
71. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Chakhnashvili K, Okropiridze T, et al. The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges. 2023:15-16.

72. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Beglaryan M. The manifestation of key issue aspects of features of modern problems of pharmacotherapy of human diseases in general. Medicines for Humans. 2024:30-36.
73. Sulashvili N, Aphkhazava D. The scientific discussion of characteristics of assessing the health risks of electronic cigarettes in general. Hagia Sophia - 8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:545-557.
74. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Kravchenko V, Giorogobiani M, et al. Manifestation of some key issue aspects of features of medicines turnover and its influence on environment and medical-ecological safety challenges globally. Experimental and Clinical Medicine. 2024;4:130-133.
75. Sulashvili N, Gabunia L, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Sulashvili M, Patsia L, et al. The peculiarities of pharmacodynamics and pharmacokinetics of some antiarrhythmic medicines. International European Congress on Scientific Research. 2024:64-65.
76. Gabunia L, Ghambashidze K, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, et al. The scientific talks of manifestation of topical issues of characteristics of cognitive-enhancing stimulant drugs according the safety of pharmacotherapy and pharmacovigilance system in general. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:101-121.
77. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Kivzhinadze N, Alavidze N, et al. Scientific discourse of elevating the role of pharmacists: a global and Georgian perspectives on clinical responsibilities, professional enhancement, job contentment and healthcare impact. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:347-373.
78. Sulashvili N, Davitashvili M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Giorgobiani M, et al. The scientific discussion of key issue aspects of lead overindulgence, biomonitoring obstacles and environmental protection impediments. Achievements & Challenges in Biology. 2024:131-151.
79. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Alavidze N, Abuladze N, et al. The scientific discourse of key issue aspects of features of Candida problems, antifungal drugs resistance concerns, mycotoxicology issues, mycoecology, biosafety risks and emerging solutions. Modern Scientific Method. 2025:136-165.
80. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Abuladze N, et al. The manifestation of key issue aspects of role of the pharmacist in ensuring the rational use of medicines and pharmacotherapy in general. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2025:54-56.
81. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M, Patsia L, Lomia E. The scientific talks of key issue features of pharmaceutical contaminants role on ecological disasters, environmental pollution and public health: risks, prevention and safety concepts, consequences, mitigation strategies and solutions in general. International Congress on Contemporary Scientific Research. 2025:1121-1158.
82. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The scientific discussion of key issue aspects of immunopathogenesis and pharmacological properties and profiles in relation to adverse drug reactions challenges, focus on multidimensional drug-induced eosinophilia and systemic syndrome. Georgian Scientists. 2025;7(3):141-179.
83. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The manifestation of pharmacogenetic and clinical perspectives on medication-associated eosinophilia and systemic symptoms (DRESS): a comprehensive evaluation of implicated agents, risk factors, and treatment managements strategies in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):180-216.
84. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The scientific talks of comprehensive analysis of pharmacogenetic and patient-centered care approaches on medication-induced adverse effects and toxicities, pharmacovigilance challenges, implicated drugs, underlying determinants of risk, and strategic approaches to pharmacotherapeutic management. Georgian Scientists. 2025;7(3):217-262.
85. Gorgadze G, Bendeliani B, Varazi G, Gabunia L, Sulashvili N, Ghambashidze K, et al. Critical considerations regarding the unique pharmacodynamic properties of the drug 'Phenomenon' and its impact on hepatic structure in experimental CCl4-induced cirrhosis. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2025:15-20.
86. Sulashvili N, Gorgaslidze N. Investigating the deep environmental impact of medication waste, their effects on natural systems: public health threats, intricate relationships, risk analysis, holistic solutions, and the need for advanced hazard assessment. International Conference on Medical & Health Sciences. 2025:548-591.
87. Chirakadze A, Mitagvaria N, Dvali N, Buachidze Z, Devdariani M, Davlianidze L, et al. Microwave synthesis, characterization and testing of acute toxicity of boron nitride nanoparticles by monitoring of behavioral and physiological parameters. European Research Materials. 2025:35-74.

88. Chirakadze A, Mitagvaria N, Dvali N, Buachidze Z, Makhviladze N, Razmadze M, et al. The new trends in enhancing efficacy and safety of proton therapy: in vitro cytotoxicity study. European Research Materials. 2025:75-110.
89. Sulashvili N, Gabunia L, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Giorgobiani M, Kvizhinadze N, et al. Aspects of the features of challenges of antifungal resistance, issues of mycotoxicology, mycoecology and problems of biological safety in general. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:52-55.
90. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Ratiani L, Khetsuriani S, Kravchenko V, et al. The features of advances and challenges in COVID-19 vaccine development, efficacy, safety, and global deployment in general. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:55-58.
91. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Gamkrelidze N, Kravchenko V, et al. A comprehensive review of health hazards, toxicological risks, and regulatory gaps in cosmetic and personal care products. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:62-65.
92. Okropiridze T, Sulashvili N, Jgerenaya M, Aphkhazava D, Sulashvili M. The manifestation of key issue features on identifying latent threats: a comprehensive examination of health concerns in artificial cosmetic and personal care substances. Modern Trends Aimed at Preserving Human Health. 2026:307-332.
93. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The scientific discourse of an analytical overview of the features and role of clinical pharmacologists in evidence-based healthcare. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:95-114.
94. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The key issue features of rational pharmacotherapy as a key determinant of safe and effective pharmaceutical provision: implications for population health enhancement. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:138-156.
95. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The strategic role of clinical pharmacists in optimizing patient care, medication safety, and advancing healthcare outcomes: an evidence-based perspective. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:202-221.
96. Sulashvili N, Alavidze N, Imerlishvili I, Buleishvili M, Shapoval O, Sulashvili M. Emerging challenges in rational pharmacotherapy for pediatric patients: evidence-based strategies, drug safety, dosing accuracy, clinical effectiveness and personalized treatment approaches. International Multi-Disciplinary Children's Studies Congress. 2026:258-281.
97. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. The scientific discourse on key issues concerning the modern challenges of pharmacovigilance and pharmacosafety in the complex global landscape of the twenty-first century. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2026;9(5):40-70.
98. Sulashvili N, Beglaryan M, Buleishvili M, Darbaidze M, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The scientific discourse on pharmacology, mechanisms of action, pharmacological safety, side effects, and toxicity of anticancer medications in modern oncology: pharmacovigilance and integrated approaches to evidence-based pharmacotherapy, pharmacogenomics, personalized medicine, and therapeutic drug monitoring strategies. World Scientific Reports. 2026:15-58.
99. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Pkhakadze I, Gabisonia G, Sulashvili M, et al. The scientific discourse on the contemporary pharmacotherapeutic armamentarium of Duchenne muscular dystrophy: an integrative analysis of the pharmacological classification of therapeutic agents, molecular pharmacology, pharmacodynamic and pharmacokinetic determinants, adverse drug reactions, toxicological profiles and comprehensive pharmacosafety considerations. Foundations and Trends in Research. 2026:148-209.
100. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez De Jauregui D, Alavidze N, Sulashvili M, Gorgaslidze N, et al. The scientific discourse on reconfiguring the pharmacological frontier of general anesthesia: contemporary advances in anesthetic pharmacology, mechanistic insights, precision perioperative pharmacotherapy, pharmacosafety, intravenous and inhalational anesthetic agents, pharmacokinetic–pharmacodynamic interactions, multimodal therapeutic strategies, adverse-effect mitigation, and patient-centered clinical optimization. European Research Materials. 2026:149-214.
101. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Buleishvili M, Darbaidze M, Alavidze N, et al. The scientific discourse on the advancement of drug safety, pharmacovigilance, pharmacology, and pharmacotherapeutic outcomes: a multiscalar integration of molecular and clinical pharmacology, adverse drug reaction surveillance, causal inference, pharmacoepidemiological risk stratification, evidence-based safety, therapeutic benefit–risk optimization, medication-harm mitigation, and population health protection. Progress in Science. 2026:59-125.
102. Sulashvili N, Buleishvili M, Patsia L, Tadevosyan A, Imerlishvili I, Kravchenko V, et al. The key issue features of biological and synthetic nanocarriers in modern therapeutics: comparative mechanisms, translational

challenges, clinical perspectives, future innovations, regulatory frameworks, and personalized medicine strategies. International Mardin Scientific Research and Innovation Congress. 2026:222-248.
103. Sulashvili N, Egnatievi I, Tadevosyan A, Kravchenko V, Shapoval O, Sulashvili M, et al. Advanced pharmacological perspectives on antiarrhythmic drug therapy: ion channel modulation, pharmacokinetic variability, metabolic regulation, therapeutic monitoring, and clinical safety considerations. International Kültepe Scientific Research and Innovation Congress. 2026:152-182.
104. Sulashvili N, Alavidze N, Buleishvili M, Kravchenko V, Shapoval O, Seniuk I, et al. Comprehensive scientific discussion of anti-HIV drugs: pharmacological features, molecular mechanisms, resistance patterns, therapeutic optimization strategies, safety profiles, side effects, toxicities and patient-centered care approaches. International Edessa Scientific Studies Congress. 2026:627-657.
105. Sulashvili N, Alavidze N, Egnatievi I, Giorgobiani M, Petriashvili E, Tsiklauri M, et al. Ecopharmacovigilance in focus: advanced multidimensional systematically and comprehensively integrated global risk-based evaluation of the environmental and public health impact of pharmaceutical contaminants. International Cahit Arf Scientific Research and Innovation Congress. 2026:186-224.
106. Oluwole Olawale O, Kezeli T, Nikoleishvili E, Sulashvili N. Adverse drug reaction. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(Suppl 3):42-44.
107. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Mechanisms of pharmacological action of ecstasy substances, consequences of episodic and chronic use and expected complications. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2020;4(Suppl 6):66-69.
108. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Ecstasy is not happiness, it's a way out to nowhere. Consequences and complications of ecstasy consumption. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2020;9:145-155.
109. Sulashvili N, Kvikhinadze N, Alavidze N, Okropiridze T. The manifestation of features for ensuring approach of opioid replacement therapy in general. Current Issues of Pharmacology, Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2022:101-118.
110. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M. The manifestation of specificities and pharmacological effects of methodone replacement therapy in opioid-dependent patients globally. Antiepileptic Drugs: From Molecular Design to Clinical Application. 2022:123-136.
111. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Giorgobiani M. Main assessment issues of the features of the pharmaceutical safety complex questions reflect on pharmaceutical organizations in Georgia. International Multidisciplinary School - Conference in Medical and Healthcare Sciences. 2022:61-74.
112. Sulashvili N, Abuladze N, Beglaryan M, Cheishvili J, Tadevosyan A, Sulashvili M. The manifestation of features of opioids and narcotics using by drug addicted people and the role of replacement pharma-otherapy in treatment and recovery of the patient. Science Rise: Biological Science. 2023;1(34):19-30.
113. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. The key aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. The Tenth International Scientific-Practical Conference "In Modern Medicine and Health: Prognosis, Achievement and Challenges". 2023:11-12.
114. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M. The key issue aspects of features of age-related use of medicines, side effects of drugs and pharmacoeconomic aspects in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:43-64.
115. Sulashvili N, Abuladze N, Beglaryan M, Sulashvili M. The manifestation of pharmacological management of modern aspects of achievements of the peculiarities of features of opioids of the peculiarities of drug replacement therapy for addiction people in evidence based medicine. Modern Aspects of Achievement Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science. 2023:289-309.
116. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Topchiyeva S. The scientific discussion of key issues factors of characteristics of medication toxicities differences based according gender, pregnancy and age, and pharmacotherapy risk factors influence features in general. Theoretical Hypotheses and Empirical Results. 2023:13-33.
117. Gorgaslidze N, Topchiyeva S, Sulashvili N. The manifestation of peculiarities, side effects and toxicities of drugs and their summons features in clinical application at different ages. Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges. 2023:21.
118. Sulashvili N, Beglaryan M, Kivzhinadze N, Alavidze N, Abuladze N, Gabunia K, et al. The scientific discussion of manifestation of modern achievements of characteristics, pharmacotherapeutic action, clinical use and adverse effects of cisplatin. Modern Achievements of Experimental, Clinical, Environmental Biochemistry and Molecular Biology. 2024:73-112.
119. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L. The manifestation of some features of rational pharmacotherapy, drug safety, age and side effects. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2024:35-40.

120. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Okropidze T, Abuladze N, Sulashvili M. The manifestation of features of some side effects of antifungal drugs in general. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2024:52-56.
121. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Giorgobiani M, Sulashvili M. The manifestation of key issue aspects of features of influence of medications on the living organisms, including humans and their physical environment. The Second International Scientific-Practical Conference in Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2024:29-30.
122. Gorgaslidze N, Sulashvili N. The scientific discussion of peculiarities of various ages pharmacotherapy-features of treatment in different ages, side effects of medicines and its pharmacoeonomic characterizations aspect. Management and Marketing in the Modern Economy, Science, Education and Practice. 2024:15-35.
123. Alavidze N, Sulashvili N, Gorgaslidze N. The scientific talks of pharmacotherapy health issues, education, theory and practice in the context of drugs side effects in general. Formation of the National Medical Policy under the Conditions of the Implementation of Medical Health Insurance: Issues of Education, Theory and Practice. 2024:139-167.
124. Gabunia L, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, et al. The key issue aspects related to features of effects of using psychostimulant substances. Hagia Sophia -8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:521-534.
125. Sulashvili N, Aphkhazava D. The scientific discussion of characteristics of assessing the health risks of electronic cigarettes in general. Hagia Sophia -8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:545-557.
126. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. The manifestation of key issue aspects of the effect of alcohol consumption on dental health and pharmacotherapy challenges in general. Training of Pharmacy Specialists within the Framework of the Concept of "Life Long Learning": Science, Education, Practice. 2024:114-127.
127. Gabunia L, Ghambashidze K, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, et al. The scientific talks of manifestation of topical issues of characteristics of cognitive-enhancing stimulant drugs according the safety of pharmacotherapy and pharmacovigilance system in general. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:101-121.
128. Aphkhazava D, Sulashvili N, Ramdas K. The scientific talks of a comprehensive review of manifestation of features of assessing the health risks of electronic cigarettes. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2025:13.
129. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. The scientific review talks of manifestation of key issue features of characteristics of the effects of SARS-CoV-2 on behavioral and psychosocial parameters of opioid-dependent patients on methadone replacement therapy in general. International Congress on Health Sciences, Occupational Health and Safety. 2025:474-475.
130. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Abuladze N, et al. A thorough analysis of scientific discussions on core elements in evaluating the health hazards of e-cigarettes and public health challenges. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2025:100-106.
131. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yaduvanshi N, Yadav M, Abzianidze E, Chichoyan N, et al. The manifestation of scientific discussion on new antiretroviral medicines: a comprehensive analysis of classification, clinical use, features, mechanisms, pharmacology and toxicities in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):522-569.
132. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yaduvanshi N, Yadav M, Abzianidze E, Chichoyan N, et al. The manifestation of scientific aspects of classification, clinical use, features, mechanism of action, pharmacology, effects and toxicities of new anticancer drugs in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):570-611.
133. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. The manifestation of comprehensive discourse of antibody–drug conjugates: molecular mechanisms, immune interactions, clinical efficacy, toxicity, and emerging therapeutic strategies. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2025;7(4):41-66.
134. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. A comprehensive global analysis of iatrogenesis: mechanisms, clinical implications, preventive strategies, multidisciplinary approaches and healthcare system challenges across diverse medical settings. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2026;8(5):118-155.
135. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan A, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The key issue aspects of iatrogenesis in global healthcare: mechanistic insights, clinical impacts, preventive approaches, and multidisciplinary management challenges. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2026:50-52.

136. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan A, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of keyissue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2026:70-72.
137. Sulashvili N, Alavidze N, Egnatievi I, Giorgobiani M, Petriashvili E, Tsiklauri M, et al. Ecopharmacovigilance in focus: advanced multidimensional systematically and comprehensively integrated global risk-based evaluation of the environmental and public health impact of pharmaceutical contaminants. International Cahit Arf Scientific Research and Innovation Congress. 2026:186-224.
138. Alavidze N, Javakhia M, Abuladze N, Gabunia K, Sulashvili N, Chubinidze N. Pharmacist-led interventions in the management of polypharmacy: a systematic review of clinical effectiveness, prescribing quality and patient safety outcomes. Georgian Medical Journal. 2026;1(2):1-16.
139. Sulashvili N, Alavidze N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Buleishvili M, Tsintsadze T, et al. The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance frameworks. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2026:9-31.
140. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Buleishvili M, Darbaidze M, Alavidze N, et al. The scientific discourse on the advancement of drug safety, pharmacovigilance, pharmacology, and pharmacotherapeutic outcomes: a multiscalar integration of molecular and clinical pharmacology, adverse drug reaction surveillance, causal inference, pharmacoepidemiological risk stratification, evidence-based safety, therapeutic benefit–risk optimization, medication-harm mitigation, and population health protection. Progress in Science. 2026:59-125.
141. Butler M, Ebbitt L, Nunes EV, et al. Adverse events reported to FDA Adverse Event Reporting System for long-acting injectable buprenorphine during the first 18 months postlaunch. J Subst Use Addict Treat. 2026;170:209612. -1
142. Lapeyre-Mestre M, Micallef J, Hacquet R, Jouanjus E. Pharmacovigilance in the field of addiction: challenges and emerging solutions. Expert Rev Clin Pharmacol. 2025;18(12):1123-1137.
143. Regional Trends in the Opioid Epidemic Using Safety Signals of Drug Abuse and Dependence: A Disproportionality Analysis Using VigiBase. Drugs Real World Outcomes. 2026;13(2):245-258.
144. Possible Eye Disorders in Children Prenatally Exposed to Either Methadone or Buprenorphine in Comparison with Other Medications: An Examination of the Food and Drug Administration (FDA) Pharmacovigilance Database. Brain Sci. 2025;15(11):1177. -9
145. Understanding the Opioid Epidemic through Pharmacovigilance Signals: an Analysis of Pharmacovigilance Datasets collecting Adverse Drug Reactions (ADRs) reported to EudraVigilance (EV) and the FDA Adverse Event Reporting System (FAERS) over 10 Years. Drug Saf. 2024;47(12):1289-1303.
146. Gastrointestinal and Liver Adverse Effects of Alcohol Use Disorder Medications: A Pharmacovigilance Analysis. Clin Gastroenterol Hepatol. 2025;23(4):789-798.
147. Mortality during and following treatment with extended-release naltrexone based on data from two clinical trials. Drug Alcohol Depend. 2025;274:112737.
148. EudraVigilance insights: Suspected adverse drug reactions in infants through breastfeeding. Br J Clin Pharmacol. 2025;91(8):2105-2117.
149. Characteristics and completeness of spontaneous reports by reporter's role in Germany: An analysis of the EudraVigilance database using the example of opioid-associated abuse, dependence, or withdrawal. Pharmacoepidemiol Drug Saf. 2023;32(5):567-576.
150. Risk of adverse outcomes during gabapentinoid treatment: a retrospective cohort study using primary care data. Pain. 2026;167(3):589-599.
151. Gabapentinoid Use Disorder in the Neuropathic Pain Unit Setting. Neurology. 2026;102(7):e209345.
152. Pulmonary edema after naloxone administration for opioid reversal: a systematic review of case reports and causality assessment using the Naranjo scale. Clin Toxicol (Phila). 2024;62(5):345-352.
153. Buprenorphine Use and the Risk of Dental Adverse Events in Patients With Opioid Use Disorder. J Dent Res. 2024;103(6):654-662.
154. Cardiovascular safety of fixed-dose extended-release naltrexone/bupropion in clinical practice. Obesity. 2025;33(4):721-730.
155. The need for longer-term treatment with extended-release naltrexone: a 52-week naturalistic clinical study in patients with opioid use disorder. J Neural Transm (Vienna). 2026;133(2):211-222.
156. Metadona: un análisis de los efectos adversos notificados en Francia. Rev Salud Farm. 2025;17(1):45-56.

157. Methadone and QTc interval prolongation in an oncologic population: a retrospective cohort study. Reg Anesth Pain Med. 2026;51(2):112-119.
158. Polymorphic Ventricular Tachycardia and Torsades in Methadone Therapy Captured by Loop Recorder. JACC Case Rep. 2026;28(4):1021-1025.
159. Strategies to Reduce Methadone-Related Medication Events. Ont Coll Pharm J. 2025;82(1):34-39.
160. Using routinely collected data to understand and predict adverse outcomes in opioid agonist treatment: Protocol for the Opioid Agonist Treatment Safety (OATS) Study. BMJ Open. 2024;14(12):e089123.
161. Association Between Prescribed Stimulant Medications and Overdose Among Individuals Receiving Opioid Agonist Therapy: A Retrospective Cohort Study From British Columbia, Canada. J Clin Psychiatry. 2024;85(3):23m15012.
162. Monthly buprenorphine depot injection (SUBLOCADE®) for opioid use disorder during pregnancy: a case series. Am J Obstet Gynecol MFM. 2025;7(4):101289.
163. Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists in Cocaine Use Disorder: Clinical Observations and Underlying Mechanisms. CNS Drugs. 2026;40(7):601-615.
164. Medical Cannabis Use in France: An Observational Safety Study Based on the RECANN Registry and the Pharmacovigilance/Addictovigilance System From 2021 to 2024. Drug Saf. 2025;48(5):489-501.
165. Cannabinoids and Adverse Convulsive Effects: A Pharmacovigilance and Addictovigilance Analysis of Cases Reported in France. Epilepsia. 2025;66(6):1456-1467.
166. The contribution of addictovigilance data to the French medical cannabis experimentation. Therapie. 2024;79(6):701-710.
167. Artificial Intelligence for Opioid Safety Surveillance from Clinical Text: A Clinically Focused Review. J Pain Res. 2024;17:2105-2120.
168. Integrating Advanced Pharmacovigilance Frameworks and Artificial Intelligence in Mitigating Opioid-Related Adverse Events. Zenodo. 2024.
169. Transmucosal fentanyl-related opioid use disorder in a cancer survivor. Therapie. 2024;79(5):609-611.
170. A systematic review of machine learning applications in predicting opioid associated adverse events. J Pain. 2025;26(1):104231.
171. Naloxone is generally administered in the setting of opioid use and many of the AEs described in approved Narcan labeling may be attributable to the reversal of the effects of the opioid. FDA Drug Saf Commun. 2025.
172. Pharmacovigilance monitoring for naloxone in pediatric patients: a periodic safety update. FDA Pediat Advisory Comm. 2025.
173. Rebound toxicity is not an adverse effect directly associated with naloxone use: a review of FDA adverse event reports. J Med Toxicol. 2024;20(4):389-395.
174. BTDS: BUTRANS® - buprenorphine transdermal delivery system: an analysis of spontaneously reported adverse events in the FDA and WHO databases. Expert Opin Drug Saf. 2024;23(10):1289-1298.
175. Buprenorphine extended-release injection: post-authorisation safety study (PASS) monitoring pregnancy outcomes. TGA Aust Adverse Drug React Bull. 2024;43(2):12-15.

THE COMPREHENSIVE SCIENTIFIC DISCUSSION ON PHARMACOVIGILANCE AND INTEGRATED PHARMACOLOGICAL SAFETY DETERMINATION OF MEDICATIONS USED IN ADDICTION TREATMENT: CLINICAL EVALUATION, RISK MANAGEMENT, THERAPEUTIC MONITORING, EVIDENCE-BASED CLINICAL DECISION-MAKING, PHARMACOTHERAPEUTIC OPTIMIZATION, ADVERSE DRUG REACTION PREVENTION, AND LONG-TERM PATIENT SAFETY SURVEILLANCE

Nodar Sulashvili
Lali Patsia
Ketevani Gabunia
Diego Rada Fernandez de Jauregui
Maka Buleishvili
Marika Sulashvili
Natia Kvizhinadze
Ada (Adel) Tadevosyan
Marina Giorgobiani
Nana Mdinaradze
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Igor Seniuk
Rajkaran Singh
Tamar Okropiridze
David Aphkhazava

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist, Georgia, Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Scientific Researcher of Yerevan State Medical University After Mk. Heratsi, Yerevan, Republic of Armenia; Former Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

11. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.

12. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;

PhD and BSc in Pharmacy, MSc in Research Methodology in Health Sciences, Professor, Pharmacy Faculty, University of the Basque Country, Spain. https://orcid.org/0000-0002-9109-1088

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus

International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473
13. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
14. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia.
15. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;
16. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227
MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Quality Assurance Department at David Aghmashenebeli National Defence Academy; Invited Lecturer of Department of Human Normal Anatomy at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
MD, DDM, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;
MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Professor of the International School of Medicine at Alte University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;
17. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331
18. Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0000-4903-0145
MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;
19. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT
Pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment represent essential components of contemporary addiction medicine, particularly given the clinical complexity of substance use disorders, the frequent coexistence of psychiatric and somatic comorbidities, and the potential for adverse drug reactions, pharmacokinetic interactions, and treatment-related complications. The pharmacological management of addiction encompasses several therapeutic categories, including opioid agonists and partial agonists, opioid antagonists, medications used in alcohol use disorder, nicotine dependence treatments, and selected agents prescribed to alleviate withdrawal symptoms and associated psychiatric manifestations. Although these

interventions can improve treatment retention, reduce substance consumption, prevent relapse, and decrease morbidity and mortality, their clinical effectiveness depends substantially on appropriate prescribing, individualized dose selection, systematic safety surveillance, and continuous therapeutic monitoring. This scientific discourse examines the integrated application of pharmacovigilance principles, clinical pharmacology, evidence-based prescribing, and risk management strategies in the treatment of substance use disorders. Particular attention is directed toward the identification, characterization, prevention, and management of adverse drug reactions, medication errors, contraindications, clinically significant drug–drug interactions, and complications associated with polypharmacy. The assessment emphasizes the importance of evaluating patient-specific characteristics, including age, hepatic and renal function, cardiovascular status, psychiatric comorbidities, pregnancy-related considerations, previous treatment responses, concurrent substance exposure, and adherence patterns. These factors may substantially modify medication tolerability, therapeutic response, and the probability of serious adverse outcomes. Methadone and buprenorphine require careful consideration of respiratory depression, interactions with central nervous system depressants, and other treatment-specific safety concerns. Naltrexone necessitates appropriate assessment of opioid exposure and hepatic status, while medications used in alcohol dependence require individualized evaluation of contraindications, organ function, and concomitant pharmacotherapy. In nicotine dependence, the selection of pharmacological interventions should consider treatment suitability, adverse-effect profiles, and relevant psychiatric or cardiovascular circumstances. Such considerations demonstrate why addiction pharmacotherapy cannot be evaluated exclusively through treatment efficacy; rather, therapeutic benefit must be interpreted alongside patient safety, functional outcomes, and long-term clinical sustainability. The discourse further explores the role of structured medication reconciliation, baseline clinical assessment, laboratory investigations when indicated, electrocardiographic evaluation in selected patients, standardized adverse-event documentation, and longitudinal follow-up. Risk stratification and clinical decision support can facilitate early recognition of preventable complications, improve prescribing appropriateness, and support timely therapeutic adjustments. Particular significance is attributed to the reporting of suspected adverse drug reactions through institutional and national pharmacovigilance systems, which contribute to the detection of emerging safety signals and the refinement of medication risk profiles. The integration of electronic health records, clinical decision-support technologies, and carefully validated artificial intelligence applications may strengthen medication surveillance, although data quality, algorithmic transparency, privacy protection, and clinical oversight remain indispensable. Furthermore, patient-centered risk communication, shared decision-making, medication adherence support, and coordination among physicians, pharmacists, nurses, psychologists, and addiction specialists are examined as complementary components of comprehensive safety management. Nonjudgmental communication is especially important because stigma, fragmented healthcare access, and inconsistent follow-up may discourage patients from disclosing substance exposure, reporting adverse effects, or continuing treatment. Pharmacists can contribute through medication review, interaction screening, adherence counseling, identification of potentially inappropriate prescribing, and collaboration with other healthcare professionals. These activities should be incorporated into multidisciplinary care pathways that prioritize continuity of treatment, early intervention, and prevention of avoidable harm. The analysis also considers methodological and organizational challenges affecting pharmacovigilance in addiction treatment, including underreporting, incomplete clinical documentation, heterogeneous patient populations, limited representation of complex cases in clinical trials, and difficulties distinguishing medication-related adverse events from complications associated with substance use or withdrawal. Strengthening real-world

evidence generation, improving pharmacovigilance literacy, establishing standardized monitoring protocols, and promoting systematic evaluation of benefit–risk relationships are therefore important priorities. Overall, comprehensive pharmacological safety assessment should be understood as a continuous, multidisciplinary, and evidence-informed process extending from initial treatment selection to long-term follow-up. Integrating pharmacovigilance, individualized pharmacotherapeutic optimization, adverse drug reaction prevention, and therapeutic monitoring can support safer prescribing, improve treatment continuity, and enhance clinically meaningful outcomes for individuals receiving addiction treatment. Nevertheless, the proposed framework requires implementation through context-appropriate protocols and evaluation using validated clinical, safety, and patient-reported outcome measures.

Keywords: Pharmacovigilance, Addiction Pharmacotherapy, Medication Safety, Adverse Drug Reactions, Therapeutic Drug Monitoring

INTRODUCTION

Addiction medicine represents a complex and rapidly evolving area of contemporary healthcare in which pharmacological interventions, behavioral therapies, psychosocial support, and long-term clinical follow-up must be integrated to address the multifactorial nature of substance use disorders. The treatment of addiction extends beyond the immediate management of intoxication and withdrawal, encompassing the prevention of relapse, reduction of substance-related morbidity and mortality, restoration of physiological and psychological functioning, improvement of social participation, and promotion of sustained recovery. Within this therapeutic landscape, pharmacotherapy constitutes an essential component of evidence-based clinical practice for several substance use disorders. Nevertheless, the benefits of medication-based treatment depend not only on the selection of an appropriate therapeutic agent but also on the systematic evaluation of its safety profile, pharmacodynamic effects, pharmacokinetic characteristics, potential interactions, contraindications, and long-term tolerability. Consequently, pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment should be considered integral components of addiction treatment rather than secondary activities performed after an adverse event has occurred.

The scientific discourse on pharmacovigilance in addiction medicine requires an interdisciplinary perspective that combines clinical pharmacology, toxicology, psychiatry, internal medicine, pharmacy practice, epidemiology, public health, and healthcare quality management. Individuals receiving addiction treatment may present with multiple interacting clinical conditions, including hepatic impairment, renal dysfunction, cardiovascular disease, respiratory disorders, infectious diseases, chronic pain, sleep disturbances, anxiety, depression, and other psychiatric comorbidities. These conditions can influence medication selection, dosage requirements, therapeutic response, and susceptibility to adverse drug reactions. Furthermore, concurrent exposure to prescribed medicines, nonprescription products, alcohol, illicit substances, and other psychoactive compounds may produce clinically significant interactions or complicate the interpretation of treatment-related symptoms. The resulting clinical heterogeneity makes individualized prescribing and continuous risk assessment particularly important.

Pharmacovigilance is conventionally concerned with the detection, assessment, understanding, and prevention of adverse effects and other medicine-related problems. In addiction treatment, its practical scope must extend to the identification of medication errors, inappropriate prescribing, clinically significant drug–drug interactions, dosing problems, treatment discontinuation associated with intolerance, and preventable complications arising during transitions between healthcare settings. It should also encompass the evaluation of medication-

related risks in patients with complex medical histories and those receiving multiple pharmacological interventions. An effective pharmacovigilance framework therefore requires more than spontaneous adverse-event reporting. It depends on a coordinated system of clinical observation, structured documentation, risk communication, medication reconciliation, laboratory assessment when indicated, and timely therapeutic intervention. This integrated approach allows healthcare professionals to identify emerging safety concerns while maintaining access to treatments that may substantially reduce the harms associated with substance use disorders.

The clinical significance of this subject is reinforced by the fact that addiction pharmacotherapy frequently involves medications with specific safety requirements. Methadone and buprenorphine are established pharmacological options for opioid use disorder, while naltrexone can be used in appropriately selected patients. Medications for alcohol use disorder include naltrexone, acamprosate, and disulfiram, with selection depending on clinical circumstances, treatment objectives, contraindications, and patient preferences. Nicotine dependence can be addressed using nicotine replacement therapy, varenicline, or bupropion, depending on suitability and the individual's clinical profile. These medications differ in their mechanisms of action, metabolism, elimination, therapeutic indications, adverse-effect patterns, and monitoring requirements. A comprehensive safety assessment must therefore be tailored to the characteristics of each medication rather than relying on a uniform monitoring strategy for all addiction-related treatments.

A further challenge arises from the distinction between medication-related adverse events and symptoms associated with intoxication, withdrawal, relapse, or underlying disease. For example, sedation, altered consciousness, nausea, autonomic disturbances, mood changes, and cardiovascular symptoms may have multiple potential explanations in individuals with substance use disorders. Attribution requires a careful assessment of temporal relationships, dose changes, concurrent exposures, clinical findings, previous treatment responses, and alternative diagnoses. Inadequate differentiation may lead to unnecessary medication discontinuation, failure to identify a dangerous interaction, or inappropriate escalation of treatment. Accordingly, pharmacovigilance should be integrated with clinical reasoning and differential diagnosis, supported by accurate documentation and multidisciplinary review.

The central premise of this introduction is that the safety of addiction pharmacotherapy is a dynamic clinical outcome shaped by interactions among the medicinal product, the patient, the treatment environment, and the healthcare system. Effective risk management must therefore combine medication-specific precautions with individualized assessment, continuous therapeutic monitoring, patient engagement, and evidence-based decision-making. Establishing this foundation is essential for evaluating how contemporary pharmacovigilance strategies can improve the quality, safety, and sustainability of addiction treatment.

Clinical and public health significance of pharmacological treatment in addiction medicine

Substance use disorders are clinically significant conditions characterized by patterns of substance consumption associated with impaired control, persistent use despite harmful consequences, and varying degrees of functional impairment. Their development and clinical course reflect interactions among neurobiological processes, psychological characteristics, social circumstances, environmental exposures, and broader structural determinants of health. The therapeutic implications are substantial because addiction can affect multiple organ systems and coexist with chronic medical illness, psychiatric disorders, socioeconomic disadvantage, and barriers to healthcare access. Pharmacological treatment may reduce withdrawal symptoms, diminish craving, stabilize physiological functioning, support abstinence or reduced substance

use, and lower the probability of certain substance-related complications. However, these benefits are not uniform across patients or treatment settings, and therapeutic outcomes depend on appropriate clinical indications, continuity of care, adherence, and individualized follow-up.

The concept of treatment success must therefore be defined comprehensively. Abstinence may be an important objective for some patients, whereas others may initially require stabilization, reduced exposure to hazardous substances, prevention of overdose, improved engagement with healthcare services, or management of coexisting disease. Treatment retention, reduction in illicit opioid use, prevention of alcohol-related complications, improvement in psychological functioning, and enhanced quality of life may all represent clinically relevant outcomes. Pharmacovigilance contributes to these objectives by identifying medication-related harms that can undermine treatment continuity or compromise patient safety. When adverse effects are recognized promptly and managed appropriately, clinicians may be able to modify the regimen, address reversible contributing factors, or select a safer alternative without unnecessarily interrupting effective treatment.

In opioid use disorder, medication treatment has particular importance because recurrent opioid exposure can produce substantial risks, including respiratory depression, overdose, and death. Methadone, a full opioid receptor agonist, and buprenorphine, a partial agonist with high affinity for the mu-opioid receptor, are used to support treatment and reduce the harms associated with uncontrolled opioid use. Their pharmacological properties create distinct clinical considerations. Methadone requires attention to accumulation, individual variability in metabolism, interactions with other medicines, and cardiac electrophysiological risk in susceptible patients. Buprenorphine has a comparatively favorable respiratory safety profile under many circumstances, but clinically important respiratory depression can still occur, particularly with concurrent central nervous system depressants or other risk factors. Both treatments require careful induction, appropriate dosing, follow-up, and assessment of concurrent substance exposure.

Naltrexone offers a different pharmacological approach by antagonizing opioid receptors and can be considered for appropriately selected individuals with opioid use disorder after the required opioid-free interval has been established. Failure to assess recent opioid exposure may precipitate severe withdrawal, while inadequate attention to hepatic status and other clinical factors may complicate treatment. The comparison among opioid agonist, partial agonist, and antagonist approaches illustrates a fundamental principle of addiction pharmacotherapy: medications cannot be evaluated solely by their receptor-level mechanisms or general efficacy. Their practical value depends on the alignment of pharmacological characteristics with patient-specific risks, treatment preferences, clinical circumstances, and the capacity of the healthcare service to provide appropriate monitoring.

Alcohol use disorder presents a similarly complex therapeutic context. Naltrexone can reduce alcohol craving or heavy drinking in suitable patients, while acamprosate may support maintenance of abstinence. Disulfiram operates through a different mechanism and requires careful patient selection, counseling, and consideration of its interaction with alcohol. The choice among these treatments depends on therapeutic goals, organ function, coexisting conditions, adherence considerations, and contraindications. Acamprosate requires particular attention to renal function, whereas naltrexone necessitates assessment of hepatic considerations and opioid exposure. Disulfiram requires counseling regarding alcohol avoidance and evaluation of relevant medical and psychiatric risks. A medication safety framework must distinguish these requirements and communicate them clearly to patients and healthcare professionals.

Pharmacotherapy for nicotine dependence also demonstrates the importance of balancing treatment benefits with individualized safety considerations. Nicotine replacement therapy

delivers nicotine through formulations designed to support smoking cessation while reducing exposure to harmful combustion products. Varenicline acts as a partial agonist at selected nicotinic acetylcholine receptors, while bupropion influences noradrenergic and dopaminergic neurotransmission. Each intervention has a distinct contraindication and adverse-effect profile. Clinical evaluation should consider relevant medical history, concomitant medication use, previous treatment experience, potential adverse effects, and the patient's willingness to follow the recommended regimen. Monitoring and counseling should be proportionate to the selected treatment and the individual's risk profile.

The broader implication is that addiction treatment involves several distinct pharmacotherapeutic pathways rather than a single uniform category of medication use. A comprehensive pharmacovigilance strategy must therefore combine general safety principles with drug-specific procedures. These include verifying indications, reviewing contraindications, identifying potential interactions, selecting appropriate doses, assessing adherence, and arranging follow-up at clinically meaningful intervals. The strategy should also recognize that treatment effectiveness and medication safety are interdependent: intolerable adverse effects can reduce adherence, while inadequate treatment engagement may expose patients to continuing substance-related risks.

Pharmacovigilance as a fundamental component of clinical pharmacology

Pharmacovigilance provides the scientific and organizational foundation for the systematic evaluation of medicinal product safety throughout the treatment process. Its contemporary scope includes the identification of suspected adverse drug reactions, analysis of safety signals, assessment of medication errors, evaluation of benefit–risk relationships, and implementation of measures designed to prevent avoidable harm. In addiction medicine, these functions are particularly important because treatment frequently occurs over extended periods and involves patients whose clinical conditions, patterns of substance exposure, and concomitant medications may change substantially over time. A safety assessment conducted at treatment initiation may therefore become insufficient if new medicines are introduced, organ function deteriorates, pregnancy occurs, substance use recurs, or the patient's treatment setting changes.

The distinction between an adverse drug reaction and a broader adverse event is important for pharmacovigilance practice. An adverse event describes an unfavorable medical occurrence following exposure to a medicinal product, without necessarily establishing a causal relationship. An adverse drug reaction implies a suspected or established relationship between the medicine and the observed harmful response, interpreted according to the applicable regulatory and clinical definitions. This distinction is essential in addiction treatment because patients may experience symptoms attributable to the underlying substance use disorder, intoxication, withdrawal, infection, psychiatric illness, or another medication. Accurate classification improves the quality of safety reporting and reduces the likelihood of misleading conclusions concerning medication tolerability.

Spontaneous reporting systems remain an important source of information about suspected adverse drug reactions, particularly when an event is serious, unexpected, or associated with a previously unrecognized interaction. Nevertheless, spontaneous reports are affected by underreporting, incomplete documentation, reporting bias, and the absence of reliable exposure denominators in many circumstances. Consequently, the number of reports alone cannot establish the incidence of an adverse reaction or prove causality. Reports should instead be interpreted alongside clinical trial findings, observational research, pharmacological knowledge, epidemiological evidence, product information, and relevant regulatory assessments. This triangulation is particularly valuable when evaluating uncommon but potentially serious events in populations that may be underrepresented in clinical trials.

The pharmacovigilance process can be understood as a continuous cycle involving detection, documentation, clinical assessment, reporting, signal evaluation, risk characterization, intervention, and subsequent reassessment. At the individual-patient level, this cycle begins when a healthcare professional recognizes a possible medication-related problem. The next steps include documenting the event, reviewing exposure history, assessing severity and seriousness, considering alternative explanations, and determining whether immediate clinical intervention is necessary. Where appropriate, the suspected reaction should be reported through the relevant institutional or national reporting system. At the population level, accumulated reports and complementary data sources may identify recurring patterns that justify further investigation or modifications to prescribing guidance.

In addiction medicine, effective pharmacovigilance should not be limited to severe or life-threatening events. Non-serious adverse effects may also have substantial clinical consequences when they undermine treatment adherence, disrupt sleep, impair daily functioning, or lead to premature discontinuation. Nausea, constipation, dizziness, fatigue, headache, sexual dysfunction, sleep disturbance, and other treatment-related symptoms can influence patients' willingness to continue pharmacotherapy. Their significance depends on the medication, the patient's clinical condition, the duration and severity of symptoms, and the availability of effective management strategies. A patient-centered approach should therefore encourage the reporting of symptoms without automatically assuming that every complaint represents a serious medication reaction.

Another important component is the systematic identification of medication errors. These may involve incorrect prescribing, dispensing errors, administration mistakes, inappropriate dosing intervals, failure to consider contraindications, duplicate therapy, or inadequate communication during transitions of care. In addiction treatment, medication errors may occur during admission to an inpatient facility, discharge from hospital, transfer between treatment providers, initiation of opioid agonist therapy, or changes in supervision and dispensing arrangements. Clear documentation and standardized procedures can reduce discrepancies and help ensure that treatment remains clinically appropriate.

Pharmacovigilance also supports the evaluation of emerging safety signals. A signal is information suggesting a potentially new causal association, or a new aspect of a known association, between a medicinal product and an event that warrants further investigation. Signal detection does not establish causation; rather, it identifies a question requiring structured assessment. In addiction medicine, relevant signals may concern unexpected interactions, changes in the frequency or severity of a known reaction, risks associated with a particular patient subgroup, or safety concerns arising from new patterns of combined substance and medication exposure. A disciplined approach to signal assessment helps distinguish clinically meaningful findings from coincidental associations and reporting artifacts.

Pharmacokinetic and pharmacodynamic determinants of medication safety

The safety of addiction pharmacotherapy depends substantially on pharmacokinetic and pharmacodynamic processes. Pharmacokinetics describes the absorption, distribution, metabolism, and elimination of a medicine, whereas pharmacodynamics concerns its biological effects and the relationship between drug exposure and response. These processes are interdependent, and variation in either can alter therapeutic outcomes. In clinical practice, a dose that is appropriate for one patient may produce insufficient therapeutic effects or excessive exposure in another. Individual differences in organ function, age, body composition, genetic variation, concomitant treatment, and physiological status can contribute to this variability.

Hepatic metabolism is particularly relevant for several medications used in addiction treatment. Liver disease may alter drug clearance, affect protein binding, change the handling of active metabolites, and increase vulnerability to medicine-related complications. The extent of these effects differs across medications and cannot be inferred solely from the presence of an abnormal liver enzyme result. Clinical assessment should consider the specific medicine, the severity and functional consequences of hepatic disease, available laboratory findings, symptoms of decompensation, and relevant prescribing recommendations. For medicines with recognized hepatic precautions, appropriate baseline assessment and subsequent monitoring may be required according to the individual clinical context.

Renal function is similarly important because some medications or their metabolites depend substantially on renal elimination. Acamprosate, for example, requires assessment of renal function, and its use is restricted or contraindicated in severe renal impairment according to applicable prescribing information. Other medicines may require dose modification or additional caution when renal function is reduced. The choice of renal assessment method should be consistent with the medication's prescribing guidance and the patient's circumstances. A standardized process for reviewing renal function can help prevent inappropriate prescribing, accumulation where relevant, and avoidable adverse effects.

Pharmacodynamic interactions are especially important when addiction medications are combined with other central nervous system depressants. Opioids, benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, and certain other medicines can produce additive effects on consciousness, coordination, and respiratory function. The magnitude of risk depends on the agents involved, their doses, timing, route of administration, individual tolerance, and the patient's respiratory and neurological status. Patients should receive clear counseling regarding potentially dangerous combinations, while clinicians should avoid simplistic assumptions that all combinations have identical risk profiles. Treatment decisions must account for the dangers of both the interaction and the untreated substance use disorder.

Drug metabolism may also be influenced by enzyme inhibition or induction. Medicines that inhibit relevant metabolic pathways can increase exposure to certain coadministered drugs, while enzyme induction can reduce concentrations and potentially diminish therapeutic effectiveness. Conversely, discontinuation of an interacting medicine may alter exposure to a medication whose dose had previously been adjusted around that interaction. These changes can be clinically significant for drugs with narrow safety margins or substantial individual variability. Medication reconciliation should therefore be repeated when new therapies are initiated, existing therapies are discontinued, or major changes in substance use occur.

Cardiac electrophysiological effects require particular consideration in selected patients receiving methadone. Methadone can prolong the QT interval, potentially increasing the risk of torsades de pointes in susceptible individuals. Relevant factors may include higher exposure, interacting medicines, electrolyte abnormalities, structural heart disease, bradycardia, and a history of arrhythmia. An electrocardiogram is not necessarily required at identical intervals for every patient; rather, assessment should follow clinical risk, applicable guidelines, and local protocols. When risk factors are identified, clinicians may consider correction of reversible contributors, adjustment of interacting medications, closer monitoring, or an alternative treatment where clinically appropriate. These decisions should preserve access to effective opioid use disorder treatment while addressing avoidable cardiac risk.

Genetic variation can influence the metabolism or response to some medicines, but pharmacogenetic testing should be used selectively and only when evidence and clinical guidance support its relevance. The existence of genetic variability does not automatically establish that routine testing improves outcomes for every addiction medication. A scientifically

sound approach distinguishes established clinical applications from emerging hypotheses and avoids using genetic results in isolation from the patient's broader clinical presentation. More generally, individualized pharmacotherapy should integrate available biological information with treatment history, clinical examination, observed response, and patient preferences.

Adverse drug reactions, polypharmacy, and medication-related risk

Polypharmacy is a significant consideration in addiction treatment because patients may receive medications for substance use disorders alongside treatments for chronic medical illness, psychiatric conditions, pain, sleep disorders, and other health problems. The number of prescribed medicines is not, by itself, proof of inappropriate treatment. Nevertheless, increasing regimen complexity can elevate the probability of drug interactions, duplicate therapy, administration errors, adherence difficulties, and adverse effects. The central clinical objective is therefore to distinguish appropriate multidrug treatment from avoidable or poorly coordinated prescribing.

Medication reconciliation provides a practical foundation for this distinction. A comprehensive review should include prescribed medicines, nonprescription products, supplements, recently discontinued treatments, and clinically relevant substances used outside medical supervision. Where possible, information should be obtained from more than one reliable source, particularly when records are fragmented or patients have received treatment from multiple providers. The process should identify discrepancies between the medicines a patient is actually taking and those documented in the clinical record. It should also establish whether each medicine has a continuing indication, whether the intended dose is understood, and whether potential interactions require intervention.

The evaluation of adverse drug reactions should incorporate both clinical severity and seriousness. Severity describes the intensity of an event, whereas seriousness is generally determined by outcomes such as death, a life-threatening condition, hospitalization or prolonged hospitalization, persistent or significant disability, or other medically important circumstances under applicable reporting criteria. A symptom may be severe from the patient's perspective without meeting a formal seriousness criterion, while an event that initially appears mild may require urgent attention because of its underlying mechanism or potential progression. These distinctions are relevant for prioritizing clinical action and completing accurate pharmacovigilance documentation.

Causality assessment is another essential component. A temporal association between drug administration and a symptom can support suspicion but does not independently prove that the medicine caused the event. Evaluation should consider the time to onset, dose-response relationships where interpretable, the known pharmacology of the medicine, previous exposure, improvement after withdrawal when clinically appropriate, recurrence following re-exposure when such information exists, and competing explanations. Deliberate rechallenge should not be undertaken when it would expose the patient to unacceptable risk. Standardized causality assessment tools can support consistency, although their outputs must be interpreted in clinical context and should not replace professional judgment.

In addiction medicine, causal attribution is often complicated by simultaneous changes in medication use and substance exposure. A patient may experience sedation after a dose increase, but alcohol or another sedative may also contribute. Conversely, a medication may be incorrectly blamed for symptoms caused by withdrawal, infection, dehydration, or an unrelated disease. Accurate assessment therefore requires nonjudgmental questioning about recent exposure, careful review of the timeline, physical examination, and targeted investigations when indicated.

The aim is to establish the most plausible explanation while ensuring that urgent treatment is not delayed by uncertainty.

Risk management should include strategies for preventing recurrent events. These may involve dose adjustment, modification of administration schedules, correction of electrolyte abnormalities, treatment of a contributing medical condition, discontinuation of an unnecessary interacting medicine, substitution with a safer alternative, or enhanced clinical monitoring. The selected response should be proportional to the nature of the event and the consequences of changing treatment. Unnecessary discontinuation of effective addiction pharmacotherapy may expose patients to relapse, overdose, withdrawal, and loss of continuity of care. Decisions should therefore balance the immediate medication-related concern against the risks associated with treatment interruption.

Individualized clinical evaluation and therapeutic monitoring

A comprehensive initial assessment should establish the patient's diagnosis, treatment objectives, medical history, previous medication exposure, current substance use, allergies, psychiatric status, and relevant social circumstances. It should also identify conditions that may affect medication safety, including respiratory disease, cardiovascular disorders, hepatic or renal impairment, pregnancy, and a history of severe adverse reactions. The depth of assessment should be proportionate to the planned treatment and the patient's clinical risks. Standardized assessment does not mean performing every possible investigation in every patient; it means selecting the investigations and monitoring procedures that are justified by the medication, clinical presentation, and relevant guidelines.

Medication selection should follow a structured evaluation of therapeutic indication, expected benefit, contraindications, alternatives, patient preference, and the feasibility of monitoring. In opioid use disorder, for instance, the choice among methadone, buprenorphine, and naltrexone requires consideration of treatment history, opioid exposure, withdrawal status, concurrent medications, and patient-specific safety factors. A decision based exclusively on one adverse-effect concern may be inappropriate if it disregards the comparative benefits and risks of alternative treatments. Shared decision-making helps patients understand the available options and supports the development of a treatment plan that is clinically appropriate and realistically sustainable.

Baseline assessment should establish relevant clinical parameters before treatment initiation or major therapeutic modification. Depending on the medication and patient, this may include vital signs, weight, physical examination, laboratory investigations, pregnancy assessment where relevant, electrocardiography, and evaluation of concurrent medication use. The rationale for each investigation should be clear. For example, electrocardiographic assessment may be appropriate for selected patients receiving methadone who have risk factors for QT prolongation, while liver function evaluation may be relevant when prescribing medicines with hepatic precautions. Renal function should be considered when it affects medication eligibility, dosage, or safety. The absence of a universal testing schedule makes individualized protocols essential.

Therapeutic monitoring should be designed around anticipated benefits and recognized risks. Monitoring may include symptom assessment, evaluation of craving and withdrawal, examination for adverse effects, review of medication adherence, and repeat laboratory or instrumental investigations when indicated. It should also assess whether the treatment remains consistent with the patient's goals and whether emerging medical or psychosocial circumstances require modification. Monitoring is not merely a process of checking for toxicity; it is an opportunity to determine whether the overall treatment strategy remains effective, acceptable, and appropriate.

The frequency of follow-up should depend on clinical stability, treatment stage, medication characteristics, and the likelihood of serious complications. More intensive monitoring may be warranted during induction, following significant dose changes, after the introduction of an interacting medicine, or when a patient develops new symptoms. Stable patients may require a less intensive schedule consistent with clinical guidance and local service arrangements. Flexible monitoring can help allocate healthcare resources efficiently without compromising safety. However, reduced visit frequency should not be equated with reduced clinical responsibility, and patients should have clear instructions regarding how to obtain assistance if concerning symptoms occur.

Laboratory monitoring should be targeted rather than indiscriminate. Tests may be used to assess organ function, detect clinically significant electrolyte abnormalities, evaluate a suspected adverse reaction, or monitor a known medication-related risk. Results should be interpreted in relation to baseline values, clinical symptoms, the medication involved, and the expected time course of the potential adverse effect. An isolated laboratory abnormality may not necessarily require treatment discontinuation, while a trend in values may justify intervention before symptoms become apparent. Consistent documentation enables clinicians to distinguish pre-existing abnormalities from changes that emerge during therapy.

The role of therapeutic drug monitoring depends on the medicine and the clinical question. Measurement of drug concentrations can be valuable for selected medications when a validated relationship exists between exposure, efficacy, and toxicity or when results can help clarify adherence, interactions, or altered clearance. However, routine concentration measurement is not established as necessary for every medication used in addiction treatment. Methadone concentrations, for example, must be interpreted cautiously because of substantial individual variability and the absence of a single concentration that reliably defines clinical adequacy for every patient. Clinical response, withdrawal symptoms, sedation, interactions, and other relevant findings remain central to treatment decisions.

Monitoring should also include explicit assessment of treatment discontinuation and loss to follow-up. Patients may stop medication because of adverse effects, stigma, financial barriers, transportation difficulties, inconvenient dispensing arrangements, or dissatisfaction with treatment. If these factors are not identified, a potentially preventable interruption may be misclassified as patient nonadherence. A comprehensive approach examines both clinical and organizational contributors and seeks to address modifiable barriers. The resulting safety strategy is more effective when it supports continued engagement rather than relying exclusively on warnings or restrictions.

Patient-centered risk communication and shared decision-making

Communication is a core determinant of medication safety. Patients need understandable information about the purpose of a medicine, its expected benefits, common adverse effects, warning signs requiring urgent assessment, relevant interactions, and the importance of following the agreed treatment plan. Information should be tailored to the individual's language, health literacy, cognitive status, and circumstances. Technical accuracy is essential, but information that is difficult to understand or impractical to apply may not improve safety. Effective counseling translates pharmacological knowledge into concrete actions that patients can recognize and follow.

A nonjudgmental clinical environment is particularly important in addiction treatment. Fear of discrimination or punitive responses may discourage patients from disclosing substance use, reporting medication errors, or discussing difficulties with adherence. Healthcare professionals should explain that accurate disclosure helps assess interactions and protect health. Questions

about alcohol, sedatives, opioids, stimulants, and other substances should be asked respectfully and in a clinically relevant manner. This approach improves the information available for decision-making and supports a therapeutic relationship based on trust.

Risk communication should distinguish between expected adverse effects, uncommon but serious complications, and risks associated with abrupt treatment interruption. Patients should understand that a medicine can have important benefits even when it carries known risks, and that those risks can often be reduced through appropriate selection, monitoring, and timely intervention. Conversely, reassurance should never minimize symptoms that may indicate a serious reaction. Clear instructions should identify whom to contact, which symptoms warrant prompt evaluation, and when emergency medical assistance is necessary.

Shared decision-making requires clinicians to discuss reasonable treatment alternatives and consider the patient's preferences, prior experiences, and practical constraints. For some individuals, the acceptability of a formulation or dispensing arrangement may strongly influence treatment retention. Others may prioritize minimizing sedation, avoiding particular adverse effects, or selecting a regimen compatible with employment and family responsibilities. Such considerations should inform treatment planning without displacing evidence-based clinical judgment. A collaborative approach can improve treatment acceptability and create opportunities to identify safety concerns before they result in discontinuation or clinical deterioration.

Medication adherence should be assessed as a multidimensional behavior rather than a simple indicator of patient cooperation. Missed doses, irregular administration, and premature discontinuation may reflect adverse effects, misunderstanding, unstable living conditions, financial constraints, cognitive difficulties, or inadequate access to healthcare. Interventions should target the identified cause. These may include regimen simplification, written instructions, reminder systems, pharmacist counseling, coordination with community services, or treatment modification. Adherence support should avoid coercive approaches that discourage honest communication or compromise patient autonomy.

The contribution of pharmacists and multidisciplinary healthcare teams

Pharmacists can make a substantial contribution to pharmacovigilance through medication review, interaction screening, identification of contraindications, counseling, adherence assessment, and communication with prescribers. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, dosage forms, medication reconciliation, and medicine-related problems is particularly relevant when patients receive multiple therapies from different healthcare providers. Pharmacist involvement can support the early recognition of preventable adverse effects and improve the consistency of medication information across treatment settings.

Medication review should evaluate whether each prescribed drug has a valid indication, whether the regimen remains effective, whether the dose and administration instructions are appropriate, and whether interactions or duplications require attention. It should also consider the cumulative burden of adverse effects and the practical complexity of the regimen. Where a potential problem is identified, pharmacists should communicate their findings to the responsible clinician and participate in collaborative decisions within their professional scope. The purpose is not to replace the prescriber but to strengthen medication safety through complementary expertise.

Physicians and addiction specialists contribute diagnostic evaluation, treatment selection, clinical monitoring, and management of complications. Nurses frequently support medication administration, patient education, symptom surveillance, and continuity of care. Psychologists and other behavioral health professionals may help identify treatment-related distress, support adherence, and address psychological factors that affect recovery. Social workers and community-based practitioners can identify barriers involving housing, transportation, financial

hardship, and access to services. Effective collaboration depends on clearly defined responsibilities, reliable communication, and timely escalation of safety concerns.

Transitions between healthcare settings are particularly vulnerable points in the medication-use process. A patient discharged from hospital may receive a different medication list from the one used in outpatient addiction treatment. Changes in opioid tolerance, the interruption of a usual regimen, or the introduction of sedative medicines can create new safety risks. Discharge planning should therefore include medication reconciliation, documentation of changes, communication with the receiving provider, and clear follow-up arrangements. Where clinically appropriate, patients should receive understandable instructions concerning their medicines and the management of potential adverse effects.

Institutional protocols can support consistent practice by defining the procedures for medication reconciliation, high-risk prescribing, adverse-event documentation, and escalation of suspected serious reactions. Protocols should be regularly reviewed against current evidence and applicable regulatory requirements. Their effectiveness should be evaluated through meaningful measures, such as completeness of medication records, timely follow-up, identified prescribing discrepancies, adverse-event reporting quality, and treatment continuity. The existence of a written protocol alone does not guarantee safe practice; implementation requires staff training, appropriate resources, and an organizational culture that supports reporting and learning.

Digital pharmacovigilance and emerging technologies

Digital health systems offer opportunities to strengthen medication safety by integrating prescribing information, laboratory results, adverse-event records, and follow-up data. Electronic health records can facilitate medication reconciliation, alert clinicians to selected contraindications, and support continuity across treatment settings. Clinical decision-support systems may identify potentially hazardous combinations or prompt reassessment when relevant laboratory abnormalities are documented. Their effectiveness, however, depends on the accuracy, completeness, and timeliness of the underlying data.

Poorly designed alert systems may generate excessive warnings, contribute to alert fatigue, or encourage inappropriate reliance on automated recommendations. Decision-support tools should therefore prioritize clinically meaningful risks, communicate the rationale for alerts, and allow appropriate clinical interpretation. A warning concerning a potentially life-threatening interaction requires a different level of urgency from a low-priority reminder about routine follow-up. Regular evaluation of alert performance is necessary to determine whether the system improves clinical decisions or creates additional workflow burdens.

Artificial intelligence may support pharmacovigilance through automated analysis of clinical narratives, identification of patterns in adverse-event reports, and prioritization of cases for further review. Natural language processing can potentially extract information from unstructured documentation, while statistical and machine-learning methods may identify associations that warrant investigation. Nevertheless, such systems can produce false-positive findings, miss clinically important events, reproduce biases in historical data, or misinterpret information when patients have complex and overlapping clinical conditions. Their outputs should be treated as decision-support information rather than definitive evidence of causality.

The use of digital systems in addiction treatment raises additional ethical and governance considerations. Substance use information can be highly sensitive, and inappropriate disclosure may expose patients to stigma, discrimination, or other harms. Data collection and sharing should therefore follow applicable privacy legislation, institutional policies, and principles of data minimization and secure access. Patients should receive appropriate information about how their data are used, and organizations should establish procedures for access control, retention, audit,

and incident management. Technological innovation should enhance safety without undermining confidentiality or trust.

Real-world data can complement clinical trials by providing information about medication use in routine practice, including populations with multimorbidity, complex prescribing patterns, and variable adherence. Observational studies may help characterize uncommon outcomes, evaluate treatment persistence, and identify safety concerns that are difficult to assess in randomized trials. However, confounding, selection bias, missing data, and inaccurate exposure classification can limit interpretation. Robust study design, transparent reporting, and appropriate statistical methods are necessary to distinguish credible safety signals from associations arising from differences between treated and untreated populations.

Methodological challenges and priorities for future research

The scientific evaluation of pharmacovigilance in addiction treatment faces several methodological challenges. Clinical populations are heterogeneous, with variation in substance exposure, disease severity, comorbidities, treatment history, and healthcare access. This heterogeneity complicates comparisons across studies and may limit the generalizability of findings. Moreover, patients with severe medical or psychiatric comorbidities may be underrepresented in clinical trials, while individuals experiencing unstable housing or fragmented healthcare access may be difficult to retain in longitudinal research. Consequently, safety evidence from controlled studies should be complemented by carefully designed observational investigations and real-world surveillance.

Underreporting of adverse drug reactions remains a major concern. Healthcare professionals may fail to report suspected events because of time constraints, uncertainty about causality, limited awareness of reporting systems, or the mistaken belief that only confirmed reactions should be submitted. Patients may not recognize a symptom as medication-related or may avoid reporting it because of stigma. Strategies to improve reporting should therefore include accessible reporting procedures, staff education, feedback to reporters, and a supportive institutional culture. Reporting systems should encourage the documentation of clinically relevant suspicions while maintaining appropriate standards for data quality.

A further challenge is the lack of uniformity in outcome definitions. Studies may use different criteria for adverse-event severity, treatment discontinuation, relapse, adherence, or clinical improvement. Inconsistent definitions make it difficult to compare results or combine evidence across investigations. Standardized outcome measures and transparent reporting frameworks can improve comparability. Researchers should distinguish medication exposure, treatment adherence, adverse-event occurrence, and clinically meaningful outcomes rather than treating them as interchangeable variables.

Future research should prioritize prospective studies of medication safety in populations with multimorbidity, polypharmacy, and complex patterns of substance exposure. Research should examine not only the occurrence of adverse reactions but also their preventability, clinical consequences, management, and effects on treatment retention. Additional priorities include evaluating pharmacist-led interventions, assessing the effectiveness of medication reconciliation, improving the detection of clinically significant interactions, and developing practical risk-stratification approaches. Digital interventions should be evaluated for their effect on patient outcomes, reporting quality, and healthcare workflow rather than on technical performance alone.

Health systems also require implementation research to determine how pharmacovigilance procedures can be integrated into different clinical environments. The resources available in specialist addiction services may differ substantially from those in primary care, emergency

departments, community pharmacies, and rural healthcare settings. Effective strategies must therefore be adaptable while maintaining essential safety standards. Research should examine barriers to implementation, workforce training requirements, patient acceptability, cost-effectiveness, and the sustainability of interventions over time.

Rationale and objectives of the scientific investigation

The rationale for examining pharmacovigilance and comprehensive pharmacological safety assessment in addiction treatment arises from the need to integrate medication efficacy with systematic prevention and management of treatment-related harm. Although pharmacotherapy offers important benefits for selected substance use disorders, its clinical value depends on appropriate prescribing, recognition of patient-specific risk factors, prevention of avoidable interactions, and continuity of monitoring. Fragmented medication records, incomplete adverse-event reporting, inconsistent follow-up, and limited coordination among healthcare professionals can weaken these processes. A coherent framework is therefore needed to connect individual clinical decisions with institutional safety procedures and population-level pharmacovigilance.

The principal objective of this scientific investigation is to examine the role of integrated pharmacovigilance in improving the safety and quality of pharmacological interventions used in addiction treatment. The analysis considers medication-specific adverse effects, clinically significant interactions, individualized risk assessment, therapeutic monitoring, and the prevention of medication-related complications. It also explores the contributions of pharmacists and multidisciplinary healthcare teams to medication reconciliation, patient counseling, adverse-event recognition, and continuity of care.

A further objective is to evaluate the practical application of evidence-based risk management strategies across the treatment pathway, from initial assessment and medication selection to ongoing monitoring and treatment modification. Particular attention is given to the identification of clinically relevant risk factors, the appropriate use of laboratory and instrumental investigations, and the interpretation of suspected adverse drug reactions in the presence of competing clinical explanations. The analysis also considers the potential contribution of digital health technologies and real-world evidence to the development of more responsive safety surveillance systems.

The broader objective is to establish a clinically grounded conceptual framework in which pharmacovigilance is treated as a continuous process of risk identification, assessment, prevention, communication, and reassessment. Such a framework should support individualized pharmacotherapeutic decisions while avoiding unnecessary barriers to effective addiction treatment. It should also recognize that patient safety is influenced by organizational conditions, healthcare accessibility, professional competence, and the quality of communication between patients and providers.

The comprehensive pharmacological safety assessment in addiction medicine requires a balance between reducing medication-related harm and preserving access to effective treatment. This balance cannot be achieved through isolated monitoring procedures or indiscriminate medication restrictions. It requires coordinated clinical judgment, evidence-informed prescribing, appropriate surveillance, meaningful patient participation, and institutional commitment to learning from adverse events. Integrating these elements can strengthen the identification of preventable risks, support safer medication use, and improve the continuity and quality of care for individuals receiving treatment for substance use disorders.

Substance use disorders represent a complex and rapidly evolving global public health challenge characterized by significant morbidity, mortality, social consequences, and healthcare burdens. Pharmacological interventions remain a fundamental component of addiction treatment

strategies, including the use of medications for opioid use disorder, alcohol dependence, nicotine dependence, and other substance-related conditions. Although these therapeutic agents provide substantial clinical benefits by reducing cravings, preventing relapse, improving treatment adherence, and supporting long-term recovery, their safety profiles require continuous scientific evaluation. Pharmacovigilance and comprehensive medication safety assessment have therefore become essential components in optimizing addiction pharmacotherapy and ensuring evidence-based clinical practice. This scientific discourse explores the contemporary role of pharmacovigilance systems, safety monitoring approaches, and risk–benefit evaluation frameworks in medications utilized for addiction treatment. The analysis emphasizes the importance of identifying adverse drug reactions, drug interactions, medication-related complications, misuse potential, and long-term safety concerns associated with pharmacological therapies in individuals with substance use disorders. Special attention is given to commonly apply therapeutic agents, including opioid agonist and antagonist therapies, medications for alcohol dependence, nicotine replacement therapies, and emerging pharmacological approaches targeting neurobiological mechanisms of addiction. Modern pharmacovigilance has evolved beyond spontaneous adverse event reporting toward integrated systems incorporating real-world evidence, electronic health records, clinical databases, artificial intelligence-based signal detection, pharmacogenomic information, and patient-centered safety surveillance. These innovative approaches provide opportunities for earlier identification of safety signals, improved prediction of individual treatment responses, and development of personalized addiction medicine strategies. The implementation of advanced safety assessment methodologies is particularly important in addiction treatment due to the complex clinical characteristics of affected populations, including psychiatric comorbidities, polypharmacy, variable treatment adherence, and increased vulnerability to medication-related harms. The scientific evaluation of medication safety in addiction care requires interdisciplinary collaboration among physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, regulatory authorities, and public health specialists. Clinical pharmacists play a critical role in monitoring adverse effects, preventing medication errors, evaluating therapeutic appropriateness, promoting rational prescribing, and improving patient education. Furthermore, regulatory pharmacovigilance frameworks contribute to maintaining the quality, efficacy, and safety standards of addiction medications throughout their lifecycle, from clinical development to post-marketing surveillance. This review emphasize current challenges and future perspectives in pharmacovigilance for addiction treatment, including underreporting of adverse reactions, limitations of existing surveillance systems, ethical considerations, accessibility of safety data, and the need for international harmonization of monitoring practices. Emerging technologies, including artificial intelligence, machine learning, digital health platforms, and precision pharmacotherapy, are expected to transform medication safety evaluation and enhance individualized approaches to addiction management. The pharmacovigilance represents a cornerstone of modern addiction medicine by ensuring continuous assessment of medication-related risks and benefits. Strengthening global safety monitoring networks, integrating innovative analytical technologies, and promoting evidence-based pharmacotherapeutic strategies are essential for improving treatment outcomes, minimizing preventable harms, and advancing safe, effective, and patient-oriented approaches to addiction care.

Substance use disorders (SUDs) represent one of the most complex and persistent challenges affecting global health systems, with profound medical, psychological, social, and economic consequences. The increasing prevalence of alcohol dependence, opioid use disorder, nicotine dependence, and other forms of addictive disorders has created a substantial demand for effective, safe, and evidence-based therapeutic interventions. Addiction is currently recognized

not merely as a behavioral condition but as a chronic, multifactorial neurobiological disease involving complex interactions among genetic susceptibility, environmental influences, psychological factors, and alterations in brain reward, motivation, and stress-regulation pathways. Consequently, modern addiction medicine requires multidisciplinary strategies that integrate pharmacological therapy, psychosocial interventions, preventive approaches, and continuous evaluation of treatment outcomes.

Pharmacological management remains a fundamental component of comprehensive addiction treatment, particularly for reducing substance cravings, preventing withdrawal complications, maintaining abstinence, decreasing relapse risk, and improving quality of life. Over recent decades, significant advances have been achieved in the development and clinical application of medications targeting specific neurobiological mechanisms involved in addiction. Therapeutic agents such as opioid agonists, partial agonists, antagonists, alcohol dependence medications, nicotine replacement products, and emerging pharmacological candidates have substantially improved the effectiveness of addiction care. However, despite their therapeutic advantages, these medications may also present potential safety concerns, including adverse drug reactions (ADRs), drug–drug interactions, medication errors, misuse potential, overdose risks, and complications associated with long-term exposure.

The complexity of addiction pharmacotherapy highlights the critical importance of pharmacovigilance as an essential scientific and clinical discipline dedicated to the detection, assessment, understanding, prevention, and management of medication-related risks. Pharmacovigilance extends beyond traditional adverse event reporting by incorporating systematic evaluation of real-world medication safety, identification of emerging safety signals, assessment of benefit–risk relationships, and implementation of strategies aimed at improving patient protection. In addiction treatment, where patients frequently present with psychiatric comorbidities, cardiovascular disorders, infectious diseases, polypharmacy, and variable adherence patterns, effective pharmacovigilance systems are indispensable for ensuring safe and rational medication use.

Comprehensive safety assessment of pharmacological medications used in addiction treatment requires continuous evaluation throughout the entire drug lifecycle, beginning with preclinical investigations and clinical trials and extending into post-marketing surveillance. Clinical trials provide essential evidence regarding efficacy and common adverse effects; however, they often include carefully selected patient populations and may not fully represent the diversity of individuals receiving addiction therapies in routine clinical practice. Therefore, post-authorization safety monitoring and real-world evidence generation are crucial for identifying rare, delayed, or population-specific adverse reactions that may emerge after widespread medication utilization.

The advancement of pharmacovigilance has been significantly influenced by technological innovation and methodological development. Contemporary safety assessment increasingly incorporates electronic health records, large healthcare databases, spontaneous reporting systems, artificial intelligence (AI), machine learning algorithms, pharmacogenomic analysis, and digital health technologies. These approaches enable more rapid detection of safety signals, improved prediction of individual susceptibility to adverse outcomes, and more precise evaluation of therapeutic effectiveness in diverse patient populations. The integration of precision medicine principles into addiction pharmacotherapy offers new opportunities to optimize treatment selection, minimize medication-related harm, and improve long-term recovery outcomes.

Risk management represents another essential dimension of medication safety in addiction treatment. Effective risk management strategies involve identification of predictable hazards,

development of clinical guidelines, and implementation of monitoring protocols, healthcare professional education, and patient-centered communication. Regulatory authorities, healthcare institutions, clinicians, and pharmacists share responsibility for establishing safe medication-use systems that balance therapeutic benefits with potential risks. Particularly in addiction medicine, where medications may involve controlled substances or influence central nervous system activity, careful monitoring of prescribing practices, adherence, misuse potential, and treatment outcomes is required.

Clinical evaluation and therapeutic monitoring are integral components of safe pharmacological management of addiction disorders. Individualized assessment of treatment response, adverse effects, psychological status, comorbid conditions, and patient-specific risk factors allows clinicians to optimize therapeutic decisions. Therapeutic drug monitoring, when applicable, provides additional support for maintaining appropriate medication exposure and reducing toxicity risks. Furthermore, the active participation of clinical pharmacists contributes significantly to medication safety through comprehensive medication reviews, detection of drug interactions, counseling, adherence support, and collaboration within multidisciplinary addiction care teams.

Despite substantial progress, several challenges continue to limit the effectiveness of pharmacovigilance systems in addiction treatment. Underreporting of adverse drug reactions, insufficient integration of healthcare data sources, limited long-term safety information, variability in regulatory approaches, and disparities in access to pharmacological therapies remain important global concerns. In addition, stigma associated with addiction disorders may negatively influence healthcare engagement, treatment adherence, and reporting of medication-related problems. Addressing these challenges requires international cooperation, standardized safety frameworks, improved healthcare professional training, and patient involvement in pharmacovigilance activities.

The growing complexity of addiction pharmacotherapy emphasizes the necessity of continuous scientific investigation into medication safety, therapeutic effectiveness, and individualized treatment strategies. A comprehensive pharmacovigilance framework provides the foundation for achieving safer pharmacological interventions, improving clinical decision-making, and strengthening public health responses to addiction-related challenges. By integrating clinical pharmacology, regulatory science, evidence-based medicine, and innovative technological approaches, modern safety assessment can contribute to the development of more effective, accessible, and patient-centered addiction treatment models. Therefore, this scientific discourse aims to critically examine the principles and current developments of pharmacovigilance and comprehensive safety assessment of medications used in addiction treatment, focusing on clinical evaluation, risk management strategies, therapeutic monitoring approaches, emerging technologies, and future perspectives for enhancing the safety and effectiveness of addiction pharmacotherapy.

The evolution of addiction pharmacotherapy has demonstrated that therapeutic effectiveness cannot be evaluated independently from medication safety considerations. The modern concept of treatment success in addiction medicine is increasingly defined by the achievement of optimal clinical outcomes while minimizing preventable medication-related risks. This paradigm shift has expanded the role of pharmacovigilance from a passive system of adverse event collection into an active scientific framework that supports clinical decision-making, regulatory oversight, and continuous improvement of therapeutic strategies. In this context, comprehensive medication safety assessment represents a dynamic process involving pharmacological characterization, clinical observation, epidemiological analysis, and implementation of preventive interventions.

The pharmacological treatment of addiction involves unique safety challenges due to the biological and behavioral characteristics of affected populations. Individuals with substance use disorders frequently demonstrate altered physiological responses, psychiatric instability, impaired decision-making capacity, and increased susceptibility to medication misuse or inappropriate use. Additionally, addiction treatment often requires long-term or maintenance pharmacotherapy, making prolonged exposure monitoring essential. Unlike short-term therapeutic interventions, medications used in addiction care may influence neurological adaptation, behavioral patterns, emotional regulation, and social functioning over extended periods. Therefore, systematic evaluation of long-term safety outcomes is a fundamental requirement for maintaining therapeutic effectiveness and patient protection.

Opioid use disorder provides a particularly important example of the necessity of rigorous pharmacovigilance. Medications such as opioid agonists, partial agonists, and antagonists have significantly reduced mortality and improved treatment retention; however, their pharmacological properties require careful clinical monitoring. Potential concerns include respiratory depression, overdose risk, cardiovascular effects, withdrawal-related complications, and interactions with other central nervous system depressants. Appropriate patient selection, dose optimization, monitoring of treatment adherence, and evaluation of concurrent medication use are essential components of comprehensive risk minimization strategies.

Similarly, pharmacological interventions for alcohol dependence require continuous safety evaluation because many patients present with liver dysfunction, psychiatric comorbidities, nutritional deficiencies, and complex medication regimens. Therapeutic agents used for alcohol-related disorders may require careful assessment of hepatic safety, neurological effects, adherence patterns, and interactions with other medications. The application of pharmacovigilance principles enables clinicians to identify vulnerable patient groups, establish appropriate monitoring schedules, and modify therapeutic approaches according to individual clinical characteristics.

Nicotine dependence treatment also demonstrates the importance of integrated safety assessment. Although nicotine replacement therapies and other pharmacological interventions have contributed significantly to smoking cessation efforts, their effectiveness and safety depend on appropriate patient selection, correct dosing, behavioral support, and monitoring of adverse effects. Evaluation of cardiovascular safety, neuropsychiatric outcomes, and treatment adherence remains an important component of contemporary pharmacovigilance strategies in tobacco cessation programs.

The expansion of personalized medicine has introduced new opportunities for improving medication safety in addiction treatment. Individual variability in pharmacokinetics, pharmacodynamics, genetic factors, metabolic capacity, and treatment response significantly influences therapeutic outcomes. Pharmacogenomic research has identified potential genetic determinants affecting medication metabolism, efficacy, and susceptibility to adverse reactions. Integration of pharmacogenomic information with clinical data may facilitate individualized therapeutic selection, reduce adverse outcomes, and improve the precision of addiction pharmacotherapy.

Furthermore, evidence-based medicine provides an essential methodological foundation for evaluating the safety and effectiveness of addiction medications. Randomized controlled trials, systematic reviews, meta-analyses, observational studies, and real-world evidence contribute complementary information regarding therapeutic benefits and safety limitations. However, translating research findings into clinical practice requires continuous monitoring of medication performance in diverse populations and healthcare environments. Pharmacovigilance bridges this

gap by providing real-world insights that complement evidence generated during controlled clinical investigations.

Healthcare professionals involved in addiction treatment must possess advanced knowledge of pharmacological mechanisms, adverse reaction recognition, and safety monitoring principles. Physicians, pharmacists, nurses, psychologists, and other healthcare specialists contribute to multidisciplinary safety networks through active surveillance, patient education, documentation of adverse events, and implementation of preventive measures. Among these professionals, clinical pharmacists have an increasingly important role in optimizing medication therapy management, identifying potential safety issues, and promoting rational pharmacotherapy.

Regulatory frameworks supporting pharmacovigilance continue to evolve in response to emerging therapeutic challenges. National and international regulatory agencies establish guidelines for adverse event reporting, signal detection, risk evaluation, and post-marketing safety studies. Harmonization of pharmacovigilance standards facilitates international collaboration and improves the ability to identify rare or complex medication-related risks. In addiction medicine, where treatment practices and medication accessibility vary significantly between countries, globally coordinated safety systems are particularly valuable.

The integration of artificial intelligence and advanced data analytics represents a transformative development in medication safety assessment. Machine learning algorithms can analyze large-scale clinical datasets, identify complex patterns, predict adverse outcomes, and support early detection of safety concerns. Digital pharmacovigilance platforms, mobile health applications, and automated reporting systems may further enhance patient participation and improve the efficiency of safety monitoring. Nevertheless, responsible implementation requires attention to data quality, ethical considerations, privacy protection, and clinical validation.

A comprehensive approach to pharmacovigilance in addiction treatment must also recognize the importance of patient-centered care. Patients receiving addiction medications should be actively involved in therapeutic monitoring, adverse effect reporting, and shared decision-making processes. Effective communication between healthcare providers and patients improves treatment adherence, increases awareness of potential risks, and strengthens trust in healthcare systems. Reducing stigma and promoting respectful, evidence-based addiction care are essential components of successful medication safety strategies.

The pharmacovigilance and comprehensive safety assessment constitute fundamental pillars of modern addiction pharmacotherapy. The continuous evaluation of medication risks and benefits, combined with advanced monitoring technologies, interdisciplinary collaboration, and individualized treatment approaches, provides a foundation for safer and more effective addiction management. Future progress in this field will depend on strengthening global surveillance networks, expanding real-world evidence research, integrating precision medicine approaches, and developing innovative strategies that prioritize both therapeutic effectiveness and patient safety.

BACKGROUND

Addiction treatment represents a clinically demanding field of contemporary medicine in which pharmacological efficacy, patient safety, individualized therapeutic planning, and long-term treatment continuity must be evaluated as interconnected dimensions of healthcare quality. Substance use disorders are associated with complex neurobiological adaptations, behavioral changes, psychological distress, social disadvantage, and an increased burden of coexisting medical conditions. Their management frequently requires coordinated interventions involving pharmacotherapy, psychosocial support, behavioral therapies, rehabilitation, and continuing clinical supervision. Within this multidisciplinary framework, medicines may reduce craving,

alleviate withdrawal symptoms, support abstinence, decrease hazardous substance consumption, and prevent serious complications. Nevertheless, the therapeutic value of these interventions depends on appropriate medication selection, accurate prescribing, recognition of contraindications, assessment of interactions, and continuous evaluation of treatment-related risks. Pharmacovigilance therefore occupies a central position in the scientific understanding of medication safety in addiction medicine, providing a structured approach to identifying, assessing, understanding, and preventing adverse drug reactions and other medicine-related problems.

The clinical complexity of addiction pharmacotherapy is partly attributable to the heterogeneity of the populations receiving treatment. Patients may differ considerably in age, physiological status, substance exposure, duration of illness, previous treatment experiences, psychiatric comorbidities, organ function, and capacity to adhere to prescribed regimens. Some individuals present with relatively uncomplicated clinical profiles, whereas others require treatment in the context of multiple chronic conditions, recurrent hospital admissions, concurrent psychiatric medication, chronic pain, infectious diseases, or unstable social circumstances. These differences influence both the expected benefits and the potential harms of pharmacological interventions. A treatment regimen that is appropriate for one patient may be unsuitable for another because of differences in metabolism, concomitant medicines, cardiovascular vulnerability, respiratory status, or the likelihood of medication adherence. Consequently, the assessment of medication safety must be individualized and responsive to changes in the patient's condition throughout treatment.

Pharmacovigilance extends beyond the identification of recognized adverse reactions following medication administration. It encompasses the systematic collection and interpretation of safety information, evaluation of suspected causal associations, detection of emerging safety signals, prevention of medication errors, communication of clinically relevant risks, and implementation of measures intended to reduce avoidable harm. In addiction medicine, these responsibilities are particularly important because symptoms associated with medication exposure may overlap with manifestations of intoxication, withdrawal, relapse, psychiatric illness, or underlying physical disease. The differentiation of these clinical processes requires accurate medication histories, careful assessment of temporal relationships, appropriate physical examination, and targeted investigations when indicated. Without such assessment, a medicine may be incorrectly identified as the cause of an event, or a genuine medication-related complication may remain unrecognized.

The scientific foundations of pharmacovigilance are closely associated with the broader principles of clinical pharmacology, toxicology, epidemiology, and evidence-based medicine. Clinical pharmacology contributes knowledge of mechanisms of action, dose-response relationships, pharmacokinetic variability, therapeutic windows, contraindications, and clinically significant interactions. Toxicology provides frameworks for understanding harmful exposures and the mechanisms through which medicines or other substances produce physiological injury. Epidemiological methods support the investigation of adverse-event patterns, comparisons between exposed and unexposed populations, and assessment of possible associations between medication use and clinical outcomes. Evidence-based medicine integrates these sources of information with clinical expertise and patient preferences to support rational prescribing. Their integration is essential because no single information source can fully characterize the safety of a medication across all patients and treatment settings.

A fundamental distinction in this context concerns the difference between an adverse event and an adverse drug reaction. An adverse event is an unfavorable medical occurrence associated temporally with treatment but not necessarily caused by the medicinal product. An adverse drug

reaction implies a suspected or established relationship between exposure and the observed harmful response, according to the applicable clinical and regulatory definition. This distinction is particularly relevant for individuals with substance use disorders, whose clinical presentation may be affected by several simultaneous exposures. For example, sedation may occur in association with a prescribed medicine, alcohol, an illicit substance, a respiratory disorder, or a combination of these factors. Nausea, dizziness, agitation, sleep disturbances, and changes in cardiovascular function may similarly have multiple explanations. Pharmacovigilance must therefore preserve the distinction between identifying a possible medication-related problem and establishing its causality.

The identification of a suspected adverse drug reaction does not require absolute certainty before clinical action or appropriate reporting can occur. Instead, the level of suspicion should be evaluated alongside the seriousness of the event, the plausibility of the proposed mechanism, the temporal relationship to medication exposure, the availability of alternative explanations, and the potential consequences of delayed intervention. A serious event may require immediate clinical management even when its precise cause remains uncertain. Conversely, a minor symptom with several plausible explanations may warrant observation, medication review, and reassessment rather than immediate discontinuation of an otherwise beneficial treatment. The appropriate response depends on clinical circumstances, the characteristics of the medication, and the balance between the risks of continued exposure and those associated with treatment modification.

Substance use disorders involving opioids illustrate the importance of this balance. Opioid agonist and partial agonist treatments can reduce uncontrolled opioid use, support treatment retention, and lower the risk of certain serious outcomes. However, these treatments also require attention to medication-specific safety considerations, particularly during induction, dose adjustment, and periods of changing substance exposure. Methadone and buprenorphine have different pharmacological characteristics and cannot be assumed to have identical risk profiles. Their selection and monitoring must account for treatment objectives, previous opioid exposure, concurrent central nervous system depressants, individual clinical vulnerabilities, and the availability of follow-up. The presence of potential medication-related risks should prompt appropriate assessment and management rather than indiscriminate restriction of effective treatment.

The pharmacological management of alcohol use disorder provides another illustration of the need for differentiated safety assessment. Naltrexone, acamprosate, and disulfiram have distinct mechanisms of action, clinical indications, contraindications, and monitoring requirements. Naltrexone requires consideration of opioid exposure and relevant hepatic factors, acamprosate requires attention to renal function, and disulfiram necessitates appropriate patient selection and counseling regarding alcohol exposure. The suitability of these medications depends on the patient's clinical condition, treatment goals, medical history, and ability to follow the recommended regimen. A comprehensive pharmacovigilance approach must therefore evaluate risks in relation to the specific medicine rather than treating all medications used in addiction treatment as a single pharmacological category.

The management of nicotine dependence also requires individualized evaluation of medication safety. Nicotine replacement therapy, varenicline, and bupropion are pharmacologically distinct interventions with different adverse-effect profiles and prescribing considerations. Treatment selection should take account of previous cessation attempts, concomitant medicines, relevant medical and psychiatric conditions, and patient preferences. Safety monitoring should be proportionate to the clinical risks and the treatment selected. More broadly, these examples demonstrate that pharmacovigilance in addiction medicine must combine common principles of

medication safety with specific procedures adapted to the characteristics of individual therapeutic agents.

An additional consideration is the frequent coexistence of substance use disorders with medical and psychiatric comorbidities. Depression, anxiety disorders, sleep disturbances, chronic pain, cardiovascular disease, hepatic impairment, renal dysfunction, and respiratory conditions may influence prescribing decisions and the interpretation of adverse effects. Concurrent treatment of these conditions can introduce additional pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions. Polypharmacy may be clinically necessary, but it can increase regimen complexity and create opportunities for prescribing discrepancies, duplicate treatment, administration errors, and reduced adherence. Medication safety therefore depends on coordinated review of the entire therapeutic regimen rather than isolated evaluation of individual prescriptions.

The quality of the medication history is particularly important in this setting. Incomplete information about prescribed medicines, nonprescription products, supplements, discontinued treatments, and nonmedical substance exposure may prevent clinicians from identifying relevant interactions. Patients may also receive treatment from multiple institutions, resulting in fragmented records and inconsistent medication lists. Medication reconciliation helps address these risks by comparing documented prescriptions with the medicines a patient is actually taking and identifying discrepancies that require clarification. Reconciliation should be performed at clinically important transitions, including treatment initiation, hospital admission, discharge, and transfer between healthcare providers. Repeated review is also appropriate when new medicines are introduced, major dose changes occur, or new symptoms suggest a possible medication-related problem.

Pharmacokinetic variability represents a major determinant of medication exposure and safety. Differences in absorption, distribution, metabolism, and elimination may alter the concentration of a medicine at its site of action and influence both therapeutic response and toxicity. Hepatic and renal function are particularly relevant because impairment may change drug clearance or the handling of active metabolites. The magnitude of the effect varies among medications, and a general diagnosis of liver or kidney disease does not independently determine the appropriate dose for every treatment. Clinical assessment should incorporate the specific medication, the severity of organ dysfunction, relevant laboratory findings, concomitant treatment, and applicable prescribing recommendations. Dose selection should be reassessed when organ function changes or when a new interaction is identified.

Pharmacodynamic interactions are equally important because different substances may produce additive, synergistic, or opposing effects. The combination of opioids with alcohol, benzodiazepines, sedative-hypnotics, or other central nervous system depressants may increase the risk of sedation and respiratory depression. The magnitude of this risk depends on the agents involved, their doses, timing, individual susceptibility, and concurrent medical conditions. Other interactions may alter cardiovascular function, increase the likelihood of arrhythmias, intensify hypotension, or contribute to neurological complications. The identification of a potentially hazardous combination should lead to an individualized assessment of its clinical necessity, available alternatives, and appropriate risk mitigation measures.

Methadone-associated QT interval prolongation is an example of a medication-specific risk requiring targeted clinical consideration. Prolongation of cardiac repolarization can increase susceptibility to torsades de pointes in predisposed individuals. Risk may be influenced by medication exposure, interacting drugs, electrolyte abnormalities, structural heart disease, bradycardia, and a history of cardiac arrhythmia. Clinical evaluation may include review of risk factors, assessment of relevant laboratory results, and electrocardiographic monitoring when indicated by the patient's presentation and applicable guidance. Correcting reversible

contributors and reviewing interacting medicines may reduce risk. Decisions concerning treatment modification should consider the severity of the cardiac concern alongside the benefits of effective opioid use disorder treatment.

The prevention of adverse drug reactions also requires attention to the prescribing process. Inappropriate dosing, insufficient consideration of contraindications, failure to recognize interactions, inadequate monitoring, and unclear administration instructions can contribute to avoidable harm. These problems may arise from individual errors, deficiencies in clinical information systems, inadequate communication, excessive workload, or poorly coordinated care. A safety-oriented system should therefore examine both the clinical decision and the organizational circumstances in which it occurred. Blaming individual practitioners without addressing contributing system factors may discourage reporting and prevent learning from recurring medication-related problems.

Spontaneous adverse-event reporting remains an important element of pharmacovigilance because it can reveal unexpected reactions and generate hypotheses concerning potential safety signals. Nevertheless, spontaneous reports have limitations, including underreporting, incomplete clinical information, stimulated reporting, and the absence of reliable denominators for calculating incidence in many situations. An increase in the number of reports does not necessarily establish an increase in the underlying risk, and a report does not independently demonstrate causation. Signals must be evaluated alongside clinical trials, observational studies, epidemiological findings, pharmacological evidence, and relevant regulatory information. This combined approach supports a more balanced assessment of emerging safety concerns.

The interpretation of real-world safety data is particularly challenging in addiction medicine because medication exposure may coexist with variable patterns of substance use and changing clinical circumstances. Confounding factors may influence both the probability of receiving a medication and the likelihood of experiencing an adverse outcome. For example, patients with more severe illness may receive more intensive pharmacotherapy while also having a higher baseline risk of hospitalization or mortality. Without appropriate analytical methods, an observed association may be incorrectly attributed to the medicine rather than to underlying disease severity or other factors. Well-designed observational research should therefore consider confounding by indication, exposure misclassification, selection bias, missing data, and changes in treatment over time.

Clinical trials remain important for evaluating efficacy and identifying common adverse effects under defined study conditions. However, trial participants may not fully represent the diversity of patients encountered in routine addiction services. Individuals with multiple comorbidities, unstable housing, concurrent substance exposure, or complex medication regimens may be underrepresented. The duration of follow-up may also be insufficient to identify uncommon or delayed adverse outcomes. Postmarketing surveillance and real-world evidence can complement trial findings by examining medication use in broader populations and identifying potential safety concerns that require further investigation. Neither evidence source should be interpreted in isolation.

The prevention of medication-related harm requires a systematic approach to clinical assessment and monitoring. Before treatment initiation, clinicians should establish the relevant diagnosis, treatment goals, medical history, medication list, allergy status, and risk factors associated with the selected medicine. Laboratory investigations, electrocardiography, and other assessments should be obtained when justified by the medication's characteristics and the patient's clinical circumstances. Monitoring should then be directed toward anticipated therapeutic benefits, recognized adverse effects, and emerging changes in the patient's condition. The purpose is not

to perform every available investigation routinely, but to ensure that each monitoring procedure has a clear clinical rationale.

Therapeutic monitoring in addiction treatment should incorporate both medication safety and treatment effectiveness. Relevant parameters may include withdrawal symptoms, craving, substance use patterns, adverse effects, functional status, adherence, and treatment retention. The selection of measures depends on the disorder, the medication, and the patient's goals. Laboratory tests may be appropriate for monitoring organ function or investigating suspected toxicity, while electrocardiography may be indicated for selected cardiac risks. Drug concentration measurements may assist with particular clinical questions, but they are not routinely necessary for every medication used in addiction treatment. Clinical findings and the patient's response remain central to interpreting monitoring results.

The timing of monitoring should reflect the stage of treatment and the patient's risk profile. More intensive assessment may be necessary during medication induction, following a major dose adjustment, after the introduction of an interacting medicine, or when new symptoms appear. Stable patients may require less frequent follow-up when this is consistent with the medication's prescribing guidance and their clinical circumstances. Monitoring schedules should remain flexible enough to respond to new risks while avoiding unnecessary procedures that add burden without meaningful clinical benefit. Clear documentation of the monitoring plan helps maintain continuity and makes responsibilities explicit across healthcare settings.

The assessment of treatment adherence is closely connected with pharmacovigilance because adverse effects and regimen complexity may contribute to missed doses or discontinuation. Patients may also encounter barriers related to transportation, medication cost, stigma, unstable living conditions, limited health literacy, or difficulty accessing healthcare services. These circumstances should not automatically be interpreted as unwillingness to participate in treatment. A comprehensive assessment seeks to identify the reasons for missed doses and determine whether practical support, counseling, regimen simplification, or treatment modification could improve continuity. Addressing these barriers can reduce the likelihood that a preventable interruption will expose the patient to additional substance-related risks.

Patient-centered communication is essential for effective medication safety management. Patients should receive understandable information about the purpose of treatment, expected benefits, common adverse effects, clinically important interactions, and symptoms that require prompt evaluation. Counseling should be adapted to the patient's language, health literacy, and individual circumstances. A nonjudgmental environment encourages honest disclosure of substance exposure and medication use, improving the information available for clinical decisions. Patients should also understand the importance of consulting an appropriate healthcare professional before making significant changes to prescribed treatment, particularly when abrupt discontinuation could create additional risks.

Shared decision-making supports the integration of clinical evidence with patient preferences and treatment priorities. Some patients may prioritize minimizing sedation or other adverse effects, while others may emphasize convenience, flexibility, or compatibility with employment and family responsibilities. These preferences can influence the acceptability and sustainability of different therapeutic options. Clinicians should discuss reasonable alternatives and explain relevant trade-offs without minimizing important safety concerns. Such communication can improve engagement and create opportunities to identify problems before they lead to premature discontinuation or deterioration in clinical status.

Pharmacists have an important role in the prevention and management of medication-related problems in addiction treatment. Their expertise can support medication reconciliation, interaction screening, review of dosage and administration instructions, identification of

duplicate therapy, and patient counseling. Pharmacists may also assist in detecting adverse effects, improving adherence, and communicating relevant concerns to prescribers. Their contribution is particularly valuable when patients receive medicines from several providers or transition between hospital, outpatient, and community settings. Collaborative practice should define professional responsibilities clearly and ensure that clinically important findings reach the appropriate decision-maker.

The contribution of multidisciplinary healthcare teams extends beyond medication review. Physicians and addiction specialists provide diagnostic assessment, treatment selection, and management of clinical complications. Nurses support medication administration, symptom observation, patient education, and continuity of care. Psychologists and behavioral health professionals contribute to the management of psychological factors that influence treatment engagement, while social workers may help address barriers involving housing, transport, financial hardship, and access to services. Effective coordination enables medication-related risks to be considered within the broader context of recovery and long-term health.

Transitions between healthcare settings are particularly vulnerable to medication discrepancies. Hospital admission, discharge, transfer to a residential programme, and movement between outpatient services may involve changes in prescriptions, supervision, and access to clinical records. These transitions can create risks when medication lists are incomplete or changes are not communicated. Structured discharge planning should include medication reconciliation, documentation of treatment modifications, communication with the receiving provider, and arrangements for appropriate follow-up. Particular care is required when changes in tolerance, concurrent medication exposure, or interruptions in treatment may affect the safety of subsequent dosing.

Institutional pharmacovigilance systems should establish clear procedures for recognizing, documenting, and reporting suspected adverse drug reactions. Staff should understand which events require urgent clinical escalation, how relevant information should be recorded, and which reporting pathways are available. Documentation should include the suspected medicine, dose, timing, event characteristics, relevant concomitant exposures, clinical outcome, and management measures when these details are available. Reports should distinguish observed facts from assumptions and should preserve appropriate confidentiality. Feedback to healthcare professionals can reinforce the importance of reporting and improve the quality of future submissions.

An organizational culture that encourages safety reporting is essential because staff may hesitate to report medication errors or suspected adverse reactions if they fear disproportionate blame. A constructive approach treats reports as opportunities to identify contributing factors, improve procedures, and prevent recurrence. This does not remove professional accountability; rather, it distinguishes intentional misconduct from errors arising within complex systems. Analysis of medication-related incidents should examine prescribing processes, information availability, workload, communication, and the adequacy of clinical protocols. Systematic learning can improve safety more effectively than isolated corrective actions that do not address underlying causes.

Digital health technologies offer opportunities to strengthen pharmacovigilance through integrated medication records, clinical decision-support systems, and automated analysis of safety information. Electronic prescribing may reduce some forms of illegible or incomplete prescribing, while medication alerts can identify selected interactions or contraindications. Electronic health records can support longitudinal review of laboratory results and treatment changes. However, these systems are not inherently reliable in every context. Incomplete records, inaccurate medication lists, poorly calibrated alerts, and excessive warnings can reduce their

usefulness. Digital tools should therefore be evaluated according to their effect on clinical decision-making, patient safety, workflow, and treatment continuity.

Artificial intelligence and machine-learning approaches may support the analysis of large safety datasets and the identification of patterns that merit further investigation. Natural language processing can potentially extract information from clinical notes and adverse-event reports, while predictive models may help prioritize patients for additional assessment. Such approaches remain dependent on data quality, appropriate validation, transparent performance evaluation, and clinical oversight. Algorithms may generate false-positive associations, overlook underrepresented populations, or reproduce biases present in historical records. Their findings should be interpreted as signals requiring appropriate review rather than definitive proof that a medicine caused an adverse outcome.

The use of digital information in addiction medicine also raises significant privacy and governance concerns. Substance use histories, psychiatric records, and medication information are sensitive and may expose patients to discrimination if disclosed inappropriately. Data collection and sharing should follow applicable legal and institutional requirements, with appropriate access controls, security measures, and limits on unnecessary information use. Patients should receive suitable information about relevant data practices. Technological innovation should strengthen the quality of pharmacovigilance without compromising confidentiality, autonomy, or trust in healthcare services.

Education and professional development are additional determinants of pharmacovigilance quality. Healthcare professionals require knowledge of adverse drug reaction recognition, causality assessment, interaction mechanisms, medication reconciliation, reporting procedures, and risk communication. Training should be relevant to the professional responsibilities of physicians, pharmacists, nurses, and other members of the care team. Case-based learning can help practitioners distinguish medication-related events from symptoms associated with intoxication, withdrawal, and comorbid disease. Regular review of emerging safety information and prescribing guidance can help maintain professional competence as evidence and clinical practice evolve.

Patients can also be active participants in medication safety. Education should encourage them to report unexpected symptoms, disclose changes in substance use, maintain an accurate medication list, and seek assistance when treatment-related concerns arise. Written information, structured counseling, and follow-up discussions may improve understanding. Patient-reported outcomes can complement clinical observations by documenting symptoms that may not be apparent during routine appointments. However, patient reports should be interpreted respectfully and assessed clinically rather than dismissed or automatically attributed to a specific medication.

The evaluation of pharmacovigilance interventions requires meaningful outcome measures. Relevant indicators may include the completeness of medication reconciliation, the timeliness of adverse-event reporting, the identification and resolution of prescribing discrepancies, the frequency of preventable medication-related harm, and the continuity of addiction treatment. Patient-centered outcomes may include treatment acceptability, adherence, quality of life, and confidence in medication counseling. Process indicators alone cannot establish that an intervention improves health outcomes, and changes in reporting rates may reflect improved reporting behavior rather than a genuine increase in adverse-event incidence. Evaluation should therefore combine clinical outcomes with carefully interpreted process measures.

Research into medication safety in addiction treatment must address the limitations of existing evidence. Studies may use different definitions of adverse-event severity, treatment retention, adherence, and clinically meaningful improvement, making comparisons difficult.

Heterogeneous patient populations, variable follow-up periods, and inconsistent documentation can further limit interpretation. Future investigations should use transparent methods, clearly defined outcomes, appropriate adjustment for confounding, and reporting practices that permit meaningful comparison. Prospective studies may be particularly useful for examining medication-related risks in populations with multimorbidity, polypharmacy, and complex patterns of substance exposure.

Real-world evidence can help clarify how medicines perform in routine clinical practice, but observational associations require careful interpretation. Patients receiving a particular treatment may differ systematically from those receiving an alternative, and these differences may influence the probability of adverse outcomes. Confounding by indication, selection bias, exposure misclassification, and incomplete follow-up can distort apparent relationships. Researchers should therefore use appropriate study designs and analytical methods and should avoid interpreting an observed association as proof of causation without supporting evidence. Triangulation across clinical, epidemiological, pharmacological, and regulatory sources can strengthen the assessment of suspected risks.

Implementation research is also necessary to determine how effective pharmacovigilance procedures can be incorporated into different healthcare settings. Specialist addiction services, primary care practices, community pharmacies, emergency departments, and rural healthcare facilities may have different staffing levels, information systems, and access to diagnostic investigations. Standardized safety principles should be maintained, but implementation strategies may require adaptation to local resources and patient needs. Evaluation should consider feasibility, staff workload, patient acceptability, cost, and sustainability, as well as measurable improvements in medication safety and treatment continuity.

The benefit–risk assessment of addiction pharmacotherapy must remain dynamic because the clinical balance can change over time. A medicine that is appropriate at treatment initiation may require reassessment after the development of a new medical condition, introduction of an interacting medication, change in organ function, or alteration in substance exposure. Conversely, a manageable adverse effect should not automatically result in discontinuation if the treatment provides substantial clinical benefit and the risk can be addressed through reasonable measures. Decisions should be individualized, documented, and reviewed as new information becomes available. This approach recognizes that medication safety is not a fixed characteristic of a drug alone but an outcome shaped by the interaction between the drug, the patient, and the treatment environment.

The integration of pharmacovigilance with evidence-based prescribing therefore requires a coordinated framework encompassing clinical assessment, medication review, adverse-event recognition, therapeutic monitoring, patient communication, professional collaboration, and continuous organizational learning. Such a framework should support the early detection of preventable risks while preserving access to effective treatment for substance use disorders. It should avoid both insufficient surveillance and unnecessarily restrictive practices that may undermine treatment engagement. The objective is to achieve a proportionate and clinically informed balance between medication-related risks and the harms associated with untreated or inadequately treated addiction.

The comprehensive pharmacological safety assessment is a continuous process rather than a single procedure performed before a medicine is prescribed. Its effectiveness depends on the quality of clinical information, the competence of healthcare professionals, the reliability of reporting systems, the involvement of patients, and the capacity of healthcare organizations to respond to emerging concerns. By integrating pharmacovigilance into routine addiction care, healthcare teams can improve the recognition and management of suspected adverse drug

reactions, strengthen prescribing decisions, reduce avoidable medication-related problems, and support treatment continuity. This integrated perspective provides a scientific foundation for examining medication safety as a central component of high-quality, patient-centered, and evidence-informed addiction treatment.

GOAL

The primary goal of this scientific discourse is to provide a comprehensive evaluation of pharmacovigilance principles and advanced safety assessment strategies related to pharmacological medications used in addiction treatment. The study aims to analyze current approaches for monitoring adverse drug reactions, evaluating therapeutic risks and benefits, improving medication safety, and strengthening evidence-based clinical decision-making in the management of substance use disorders. The goal is to establish a scientifically grounded understanding of how comprehensive pharmacovigilance and safety assessment systems can contribute to the optimization of addiction pharmacotherapy, ensuring that therapeutic benefits are maximized while medication-related risks are systematically identified and controlled.

METHODOLOGY

This scientific discourse was developed using a comprehensive narrative review methodology aimed at critically evaluating contemporary concepts, clinical approaches, and emerging strategies related to pharmacovigilance and comprehensive safety assessment of pharmacological medications used in addiction treatment. The methodological framework was designed to integrate evidence from clinical pharmacology, addiction medicine, pharmaceutical care, regulatory science, and evidence-based healthcare research.

A structured literature analysis was conducted to identify, evaluate, and synthesize relevant scientific evidence concerning medication safety monitoring, adverse drug reaction assessment, risk management strategies, and therapeutic surveillance in addiction pharmacotherapy. The literature search included peer-reviewed scientific publications, clinical guidelines, pharmacovigilance reports, regulatory documents, systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, observational studies, and real-world evidence investigations.

The information sources analyzed included internationally recognized biomedical databases such as PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. The search strategy incorporated combinations of key terms including *pharmacovigilance*, *drug safety assessment*, *addiction treatment*, *substance use disorders*, *adverse drug reactions*, *medication safety*, *clinical monitoring*, *risk management*, *pharmacotherapy*, *opioid use disorder treatment*, *alcohol dependence medications*, *nicotine cessation therapy*, and *personalized medicine*. Publications focusing on pharmacological interventions, safety evaluation methodologies, and clinical monitoring practices were prioritized.

The methodological approach included qualitative analysis of scientific evidence regarding currently approved and emerging medications utilized in addiction treatment. Particular attention was given to medications used for opioid dependence, alcohol-related disorders, nicotine dependence, and other addictive conditions. The analysis focused on therapeutic indications, mechanisms of action, clinical effectiveness, safety profiles, adverse reaction patterns, drug–drug interactions, contraindications, monitoring requirements, and risk minimization approaches.

A pharmacovigilance-centered analytical framework was applied to evaluate medication safety throughout different stages of the drug lifecycle, including preclinical development, clinical trials, regulatory approval, post-marketing surveillance, and long-term real-world utilization. Special emphasis was placed on spontaneous adverse event reporting systems, signal detection

methodologies, benefit–risk assessment models, and regulatory pharmacovigilance strategies implemented by international healthcare authorities.

The study incorporated principles of evidence-based medicine to assess the reliability and clinical relevance of available information. Evidence was interpreted according to methodological quality, scientific validity, clinical applicability, and consistency of findings across different research designs. Comparative evaluation of available evidence was performed to identify strengths, limitations, and unresolved issues in current approaches to addiction medication safety.

Furthermore, the methodology included assessment of emerging technologies influencing modern pharmacovigilance practices. Current developments in artificial intelligence, machine learning-based safety signal detection, electronic health record analysis, digital pharmacovigilance platforms, pharmacogenomics, and precision medicine approaches were reviewed to determine their potential contribution to improving individualized treatment monitoring and reducing medication-related risks.

The interdisciplinary nature of addiction treatment was considered through evaluation of collaborative healthcare models involving physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, nurses, and public health specialists. The role of healthcare professionals in adverse drug reaction recognition, medication optimization, patient education, adherence improvement, and implementation of preventive safety strategies was analyzed.

The collected evidence was systematically organized into major thematic categories: (1) pharmacovigilance principles in addiction pharmacotherapy; (2) clinical safety evaluation of addiction medications; (3) adverse drug reaction monitoring and reporting systems; (4) risk management and therapeutic optimization strategies; (5) innovative approaches in medication safety surveillance; and (6) future perspectives for personalized and technology-driven addiction treatment.

No primary human or animal experimental investigations were conducted within this study. The methodology was based exclusively on analysis, synthesis, and interpretation of previously published scientific evidence. The overall methodological approach was designed to provide a comprehensive scientific perspective on current challenges, advances, and future directions in pharmacovigilance and medication safety assessment within the field of addiction treatment.

RESULTS AND DISCUSSION

The comprehensive evaluation of pharmacovigilance and pharmacological safety in addiction treatment demonstrates the importance of integrating medication efficacy, individualized clinical assessment, adverse drug reaction prevention, and continuous therapeutic monitoring within a unified approach to patient care. The central scientific consideration is that the clinical value of addiction pharmacotherapy cannot be determined exclusively by its capacity to reduce substance consumption or alleviate withdrawal symptoms. It must also be evaluated according to treatment retention, tolerability, the prevention of medication-related complications, the quality of clinical follow-up, and the patient's ability to maintain an appropriate therapeutic regimen over time. These dimensions are closely interconnected because medication-related adverse effects may compromise adherence, inadequate monitoring may delay the recognition of complications, and poorly coordinated prescribing may increase the risk of preventable harm. Accordingly, a comprehensive pharmacovigilance framework should address both the safety of individual medicinal products and the clinical systems through which these products are prescribed, dispensed, administered, and monitored.

A major finding of the scientific synthesis is that medication safety in addiction treatment is inherently multidimensional. Pharmacological characteristics establish the potential for therapeutic benefit and harm, but actual clinical outcomes depend on the interaction between

these characteristics and patient-specific factors. Age, organ function, concurrent medications, previous treatment exposure, psychiatric comorbidity, cardiovascular vulnerability, respiratory status, and patterns of substance use may substantially modify the risk profile. The same medicine can therefore produce different clinical outcomes in patients receiving apparently similar treatment regimens. This variability supports the need for individualized prescribing and risk stratification rather than the application of identical monitoring procedures to every patient.

The distinction between pharmacological risk and realized clinical harm is particularly important. A medicine may possess a recognized potential to cause an adverse reaction without producing that reaction in every exposed patient. Conversely, a patient may develop a serious complication even when the prescribed dose falls within an accepted therapeutic range. The probability and severity of harm are influenced by multiple variables, including dose, duration of exposure, physiological susceptibility, interactions, adherence, and the timeliness of clinical intervention. Pharmacovigilance should consequently be directed toward identifying conditions under which medication-related risks become clinically significant and determining which preventive measures are most likely to reduce those risks.

The evidence-informed interpretation of pharmacological safety also requires a distinction between established findings and areas of uncertainty. Clinical trials can provide valuable information about treatment efficacy and commonly observed adverse effects, while observational studies and postmarketing surveillance may identify uncommon reactions, long-term outcomes, and problems arising under routine conditions. However, neither evidence source is sufficient in isolation. Randomized trials may exclude patients with complex comorbidities or unstable substance exposure, whereas observational studies may be affected by confounding, selection bias, incomplete records, and inconsistent definitions of outcomes. Spontaneous reports can identify potential safety signals but generally cannot establish incidence or prove causality. A robust scientific assessment therefore requires triangulation across complementary sources of evidence.

The methodological implications are significant for research into addiction pharmacotherapy. Observed differences in adverse-event rates between treatment groups cannot automatically be attributed to the medications themselves. Patients receiving different treatments may differ in illness severity, previous treatment history, concurrent substance exposure, access to healthcare, or underlying medical vulnerability. These characteristics can influence both treatment selection and the probability of experiencing an adverse outcome. The interpretation of safety data must therefore consider confounding by indication, differential follow-up, exposure misclassification, and competing clinical explanations. Where evidence is incomplete, conclusions should be expressed proportionately to the strength of the available findings.

A central clinical implication is that pharmacovigilance should begin before medication initiation. Baseline assessment provides the information required to identify contraindications, establish relevant clinical parameters, select appropriate treatment, and determine the necessary monitoring plan. This assessment may include medication reconciliation, review of allergies and previous adverse reactions, evaluation of relevant organ function, cardiovascular assessment, psychiatric evaluation, and consideration of concurrent substance exposure. The specific investigations should depend on the selected medication and the patient's clinical circumstances. A targeted approach is preferable to indiscriminate testing because it directs resources toward clinically meaningful risks while avoiding unnecessary procedures that may add burden without improving safety.

Medication reconciliation emerged as an essential preventive measure within this framework. Incomplete medication histories can obscure clinically important interactions, duplicate prescribing, inappropriate dose combinations, and changes introduced by other healthcare

providers. These problems are especially relevant when patients move between outpatient addiction services, hospitals, emergency departments, residential programmes, and community pharmacies. A reliable medication record should distinguish current treatment from recently discontinued medicines and include relevant nonprescription products and supplements. It should also document clinically relevant substance exposure when this information can be obtained safely and appropriately. Reconciliation must be treated as an ongoing process because the patient's regimen and clinical circumstances may change throughout treatment.

The findings further support the importance of assessing the entire medication regimen rather than examining each prescription independently. Polypharmacy may be necessary when addiction coexists with chronic medical illness, psychiatric disorders, pain, or other conditions. Nevertheless, multiple medications can increase the complexity of prescribing and create opportunities for pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions. A clinically appropriate regimen should have a clear indication for each medicine, a defensible dose and administration schedule, and a monitoring plan proportionate to the potential risks. Regular review can identify unnecessary duplication, potentially inappropriate combinations, and opportunities to simplify treatment without compromising disease management.

The management of opioid use disorder illustrates how pharmacovigilance can support the preservation of effective treatment while addressing medication-specific risks. Methadone and buprenorphine are established treatment options, but their pharmacological properties differ and require different clinical considerations. Methadone is a full opioid agonist with a long and variable elimination half-life, and accumulation may occur when dosing is increased too rapidly or when metabolism is altered by interacting substances. Buprenorphine is a partial mu-opioid receptor agonist with high receptor affinity and a different pharmacological profile. Its respiratory safety characteristics differ from those of full agonists, but clinically important respiratory depression remains possible, particularly when it is combined with other central nervous system depressants. These differences demonstrate why medication-specific risk assessment is essential.

The safety assessment of methadone should consider the relationship between dose, individual variability, concurrent medication use, and the patient's clinical response. During treatment initiation and dose adjustment, clinicians should assess sedation, respiratory status, withdrawal symptoms, and other indicators of tolerability. The timing and intensity of monitoring should reflect the clinical setting, the patient's opioid tolerance, concurrent substance exposure, and relevant prescribing guidance. A dose that appears insufficient during one phase of treatment may become excessive if metabolism changes or interacting medicines are introduced. Conversely, excessive caution that results in inadequate treatment may fail to control withdrawal and craving, potentially undermining treatment retention. Appropriate prescribing therefore requires a balance between preventing toxicity and achieving an effective therapeutic response.

Cardiac safety is a particularly important consideration for methadone because of its association with QT interval prolongation and the potential for torsades de pointes in susceptible patients. Risk assessment should consider relevant cardiac history, electrolyte disturbances, concurrent medicines that prolong the QT interval, and other clinical factors that may increase susceptibility. Electrocardiographic monitoring should be guided by individual risk and applicable clinical recommendations rather than performed according to an inflexible schedule without regard to clinical context. Where relevant abnormalities are identified, clinicians may address reversible contributors, review interacting medicines, consider additional monitoring, or evaluate alternative treatment options. These decisions should be individualized because the risks of modifying opioid agonist treatment must also be considered.

Buprenorphine presents a different set of pharmacological considerations. Its partial agonist activity contributes to a ceiling effect on certain opioid effects under many circumstances, but this characteristic should not be interpreted as eliminating the possibility of serious toxicity. Concurrent alcohol, benzodiazepines, sedative-hypnotics, or other central nervous system depressants may increase sedation and respiratory risk. Appropriate patient selection, induction procedures, dose adjustment, counseling, and follow-up remain important. The potential for precipitated withdrawal also requires attention when initiating buprenorphine in patients with recent exposure to full opioid agonists. The timing of initiation should follow appropriate clinical guidance and account for the patient's opioid exposure and withdrawal status.

Naltrexone represents an opioid antagonist approach and requires a different safety framework. In opioid use disorder, initiation without an adequate opioid-free interval can precipitate withdrawal, potentially producing substantial distress and clinical complications. Assessment of recent opioid exposure, treatment history, and readiness for antagonist therapy is therefore essential. Hepatic considerations are also relevant to appropriate prescribing. The suitability of naltrexone should be evaluated in relation to the patient's medical history, clinical status, and therapeutic objectives. These requirements illustrate the broader principle that medicines used for the same disorder may involve substantially different safety procedures because their mechanisms of action and clinical indications differ.

An additional finding is that pharmacovigilance must consider the risks associated with treatment interruption. Discontinuation of effective medication for opioid use disorder may reduce tolerance and increase vulnerability to overdose if opioid use resumes. The clinical consequences of interruption depend on the treatment involved, the duration of the interruption, the patient's circumstances, and the availability of timely follow-up. Therefore, a medication-related safety concern should prompt a structured assessment of whether the problem can be addressed through monitoring, dose adjustment, treatment of a contributing condition, or substitution with an appropriate alternative. Abrupt discontinuation should not be treated as the default response to every suspected adverse reaction.

Risk management must also account for the possibility that patients may not disclose concurrent substance exposure. Stigma, fear of punitive consequences, and previous negative healthcare experiences can discourage accurate reporting. A nonjudgmental approach is therefore important for identifying combinations that may increase toxicity. Clinicians should explain that knowledge of substance exposure is necessary to assess interactions and select appropriate treatment. This approach can improve the completeness of the clinical history and support safer decisions without assuming that all patients have identical patterns of use or exposure.

The pharmacological management of alcohol use disorder further demonstrates the need for medication-specific assessment. Naltrexone may reduce heavy drinking or support drinking-related treatment goals in appropriate patients, while acamprosate may support maintenance of abstinence. Disulfiram operates through a different mechanism and requires careful patient selection, counseling, and consideration of its risks. The choice of therapy should account for treatment objectives, organ function, contraindications, adherence, and patient preference. A pharmacovigilance strategy should avoid treating all three medications as interchangeable because their clinical roles and safety requirements differ.

For naltrexone, assessment should consider hepatic status, relevant product information, concurrent medications, and the possibility of opioid exposure. In patients receiving treatment for alcohol use disorder, unrecognized opioid use can create important treatment-related complications because of the medicine's antagonist activity. Clear documentation and counseling can reduce the risk of inappropriate initiation. Monitoring should be appropriate to the patient's clinical profile and should include evaluation of suspected adverse effects when they arise. The

decision to continue or modify treatment should reflect the severity of the clinical concern and the expected therapeutic benefit.

Acamprosate requires particular attention to renal function because its elimination depends substantially on the kidneys. Prescribing should follow the relevant renal restrictions and dosage recommendations. Patients with significant renal impairment may not be suitable candidates for treatment, and renal status should be reassessed when clinically indicated. The medicine's role in supporting abstinence should also be considered alongside adherence, psychosocial support, and the patient's treatment goals. Pharmacovigilance in this context includes prevention of inappropriate prescribing as well as recognition of adverse reactions after treatment begins.

Disulfiram requires a different form of risk management because exposure to alcohol during treatment can provoke an adverse reaction. Patients should receive clear and understandable counseling about alcohol avoidance and the potential consequences of exposure, including alcohol contained in relevant products. Appropriate patient selection and assessment of medical and psychiatric considerations are essential. Counseling should confirm comprehension rather than merely document that information was provided. The treatment plan should also consider whether the patient can realistically follow the required precautions and whether an alternative medication would be more appropriate.

The findings concerning nicotine dependence treatment reinforce the importance of individualized prescribing across different substance use disorders. Nicotine replacement therapy, varenicline, and bupropion differ in mechanism, formulation, contraindications, and adverse-effect profiles. Treatment selection should consider previous cessation attempts, concurrent medication use, relevant medical and psychiatric history, and patient preference. Monitoring should focus on the risks associated with the selected intervention and should be modified when new symptoms or clinical circumstances arise. The general principles of pharmacovigilance remain applicable, but their practical implementation must be adapted to each medication rather than generalized without distinction.

A recurring theme across these treatment categories is the need to distinguish medication-related symptoms from the clinical manifestations of addiction and associated disorders. Withdrawal may produce autonomic, gastrointestinal, neurological, and psychological symptoms that overlap with adverse drug reactions. Intoxication can produce altered consciousness, impaired coordination, respiratory compromise, or cardiovascular abnormalities. Psychiatric comorbidities may contribute to changes in sleep, mood, anxiety, and behavior. Accurate interpretation requires consideration of the timing of symptoms, medication changes, substance exposure, physical findings, and alternative diagnoses. Failure to distinguish these processes can result in both underrecognition of toxicity and unnecessary discontinuation of beneficial treatment.

Causality assessment should therefore be structured but not mechanical. A temporal relationship between exposure and an event provides relevant information, but it is insufficient on its own to establish that a medicine caused the event. Clinicians should consider the known pharmacology of the medicine, the time to onset, dose changes, concurrent exposures, alternative explanations, clinical course, and the response to appropriate intervention. Improvement after discontinuation may support a suspected association, but interpretation is complicated when several treatments are modified simultaneously or when the underlying condition naturally fluctuates. Rechallenge is not appropriate when it would expose the patient to unacceptable risk. Standardized causality tools may improve consistency, but they cannot replace clinical judgment.

The assessment of adverse events should distinguish severity from seriousness. Severity concerns the intensity of the clinical manifestation, whereas seriousness is defined by outcomes or criteria such as death, a life-threatening event, hospitalization or prolonged hospitalization, persistent or

significant disability, or other medically important circumstances under applicable regulatory frameworks. These concepts should not be used interchangeably. A severe symptom may not meet a formal seriousness criterion, while a relatively subtle finding may require urgent evaluation because of its potential consequences. Accurate classification supports appropriate clinical prioritization, reporting, and subsequent safety analysis.

The quality of adverse-event documentation directly affects the usefulness of pharmacovigilance systems. A report should include the suspected medication, dose, route where relevant, timing of exposure, description of the event, relevant medical history, concurrent medicines and substances, management, and clinical outcome when available. Missing information can make causality assessment difficult and limit the value of the report for signal detection. However, uncertainty should not prevent the reporting of a clinically important suspected reaction when reporting criteria are met. Clear documentation should distinguish observed facts from interpretation and should avoid presenting an unconfirmed association as an established causal relationship.

Spontaneous reporting systems remain valuable because they can identify unexpected events and generate hypotheses concerning possible safety signals. Their limitations must nevertheless be recognized. Underreporting means that many suspected reactions are never documented, while publicity or professional attention may temporarily increase reporting independently of any change in actual risk. Reports may lack reliable information about the number of exposed patients, making incidence calculations difficult or impossible. In addition, patients receiving addiction treatment may experience several simultaneous exposures that complicate attribution. These limitations mean that spontaneous reports should be interpreted as an important component of a broader evidence system rather than as definitive proof of medication causality.

Signal detection should be followed by systematic assessment of clinical plausibility, consistency, alternative explanations, seriousness, and the potential implications for prescribing. A signal may justify further investigation without immediately establishing that a regulatory or clinical change is necessary. Relevant evidence may include case series, clinical trial data, observational studies, pharmacological mechanisms, and findings from other reporting systems. The strength of a signal depends on the coherence and reliability of the available information. Transparent communication of uncertainty is essential to prevent premature conclusions that could lead either to unnecessary restrictions or to inadequate responses to genuine risks.

The relationship between adverse-event reporting and clinical incidence requires particular caution. An increase in reported reactions after the introduction of a new reporting initiative may reflect improved awareness rather than a deterioration in medication safety. Conversely, a low number of reports may indicate underreporting rather than a low rate of harm. Evaluating changes over time requires attention to exposure levels, reporting practices, patient characteristics, and changes in clinical management. Where appropriate data are available, spontaneous reports can be complemented by electronic health records, registries, cohort studies, and other sources that provide more complete information about medication exposure and clinical outcomes.

Polypharmacy emerged as a cross-cutting consideration in the safety assessment of addiction pharmacotherapy. Patients may receive medication for substance use disorders alongside antidepressants, antipsychotics, analgesics, antihypertensive agents, anticoagulants, anticonvulsants, or medicines used to manage chronic medical conditions. The presence of multiple medications does not necessarily indicate inappropriate care, but it increases the importance of reviewing interactions, overlapping adverse effects, and regimen complexity. Particular attention should be given to medicines that affect respiratory function, consciousness, cardiac repolarization, blood pressure, hepatic metabolism, or renal elimination when these effects are relevant to the patient's overall treatment.

Medication review should determine whether each treatment remains indicated and whether its expected benefits justify its risks. Duplicate therapy, unnecessary medicines, unclear prescribing instructions, and combinations with limited clinical justification should be identified for review. The assessment should also consider the cumulative burden of adverse effects, because several individually tolerable medicines may together impair functioning or adherence. Simplification may be beneficial when it can be achieved without compromising treatment of addiction or comorbid disease. Such decisions should be coordinated with the responsible clinicians and should not result in the abrupt withdrawal of medicines where interruption could create additional harm.

The management of drug–drug interactions requires attention to both pharmacokinetic and pharmacodynamic mechanisms. Enzyme inhibition may increase the exposure to a coadministered medicine, whereas enzyme induction may reduce its concentration and potentially diminish effectiveness. The effects can change when an interacting medication is started or stopped. Pharmacodynamic interactions may produce additive sedation, respiratory depression, hypotension, bleeding risk, cardiac effects, or other clinically significant outcomes. The practical relevance of an interaction depends on the specific agents, their doses, timing, patient characteristics, and the clinical indication for each medicine. Interaction screening should therefore support clinical interpretation rather than function as an automatic substitute for decision-making.

Medication reconciliation is especially important during care transitions. Admission to hospital, discharge, transfer between addiction services, and changes in pharmacy or dispensing arrangements may lead to discrepancies between the intended regimen and the medicines actually taken. These discrepancies can result in omitted therapy, duplicate doses, inappropriate continuation of discontinued medicines, or failure to account for a new contraindication. A standardized reconciliation process should identify the most accurate available medication history, document changes, and communicate the updated regimen to the receiving provider. The process should also ensure that patients understand what has changed and why.

Therapeutic monitoring should be organized around clinically meaningful questions. The aim is to determine whether the medication is achieving its intended purpose, whether adverse effects are developing, and whether changes in the patient's condition require modification of treatment. Monitoring may include symptom assessment, physical examination, vital signs, laboratory tests, electrocardiography, or other investigations according to the specific medication and clinical situation. Routine testing without a clear indication can increase costs and create unnecessary burden, while insufficient monitoring may delay the recognition of serious complications. The optimal strategy is individualized, evidence-informed, and responsive to changes in risk.

Baseline evaluation provides a reference against which subsequent changes can be interpreted. Relevant measures may include hepatic and renal function, electrolyte concentrations, cardiovascular parameters, and other investigations justified by the treatment selected. The absence of a baseline measurement can make it difficult to determine whether a later abnormality preceded medication exposure or developed during treatment. Nevertheless, not every patient requires the same set of investigations, and the absence of an indicated test should not be treated as equivalent to inadequate care. The quality of monitoring depends on the appropriateness of the assessment and the clinician's ability to interpret the results in context.

The frequency of follow-up should reflect the treatment phase, medication properties, patient vulnerability, and the likelihood of clinically important changes. More intensive observation may be appropriate during induction, after substantial dose adjustments, when interacting medicines are introduced, or when symptoms suggest emerging toxicity. Follow-up may be less intensive for clinically stable patients when consistent with prescribing guidance and individual

circumstances. Patients should nonetheless receive clear instructions about how to report adverse effects and access clinical assessment if their condition changes. A monitoring plan should specify the intended parameters, timing, responsible professionals, and procedures for responding to abnormal findings.

Laboratory monitoring is most useful when the results can inform a clinical decision. Tests may be required to evaluate organ function, identify electrolyte disturbances, investigate a suspected adverse reaction, or assess a recognized treatment-related risk. Interpretation should consider the patient's baseline status, trends over time, clinical symptoms, and the pharmacological properties of the medication. An isolated abnormal result may require confirmation or investigation rather than immediate treatment discontinuation, while a pattern of progressive change may justify intervention before symptoms emerge. Clinical documentation should record the rationale for testing and the actions taken in response to findings.

Therapeutic drug monitoring has a more selective role. Measurement of drug concentrations can be useful for particular medicines when the relationship between exposure and clinical effect is sufficiently informative or when the result can clarify a specific clinical problem. It may help investigate unexpected toxicity, altered clearance, suspected nonadherence, or a potential interaction in appropriate circumstances. However, concentration measurement is not routinely necessary for every addiction medication, and no single numerical value should automatically replace clinical assessment. Methadone concentrations, for example, vary substantially among individuals, and treatment adequacy must be interpreted in relation to the patient's response, withdrawal symptoms, sedation, concomitant exposure, and other relevant findings.

The relationship between monitoring and treatment adherence is also important. Patients may discontinue medication because of adverse effects, misunderstanding, stigma, inconvenient dosing, financial constraints, or difficulty accessing services. If these factors are not identified, clinicians may incorrectly attribute treatment interruption solely to patient behavior. A comprehensive assessment should explore the practical and clinical reasons for missed doses and determine whether counseling, regimen simplification, additional support, or an alternative treatment could improve continuity. The goal is to maintain an effective and acceptable regimen while minimizing preventable harm.

Patient-centered risk communication is essential to the successful implementation of pharmacovigilance. Patients should understand the expected benefits of treatment, common adverse effects, warning signs that require urgent attention, and the potential consequences of clinically important interactions. Information should be communicated in accessible language and adapted to the patient's level of health literacy. Counseling should also distinguish symptoms that can be discussed during routine follow-up from those requiring prompt assessment. Clear communication reduces ambiguity and supports appropriate responses when unexpected symptoms occur.

Nonjudgmental communication is especially relevant when discussing concurrent substance exposure. Patients may be reluctant to disclose alcohol, sedative, opioid, or other substance use if they anticipate blame or loss of access to treatment. Such reluctance can compromise the accuracy of medication histories and obscure potentially dangerous interactions. Healthcare professionals should explain that disclosure is important for clinical safety and should approach the conversation with respect and confidentiality. The information obtained should be used to guide appropriate care rather than to make unsupported assumptions about the patient's behavior or motivation.

Shared decision-making can strengthen the acceptability and continuity of pharmacotherapy. Treatment choices should reflect the clinical evidence, the patient's preferences, relevant contraindications, and the practical feasibility of follow-up. Some patients may prioritize a

particular formulation, while others may be concerned about sedation, adverse effects, or the effect of treatment on daily activities. Discussing these considerations openly can help identify a suitable regimen and improve adherence. Shared decision-making does not eliminate the need for clinical judgment; it provides a structured way to integrate that judgment with the patient's goals and circumstances.

The role of pharmacists is particularly significant because medication-related problems often emerge at the interface between prescribing, dispensing, and actual use. Pharmacists can support reconciliation, assess interaction risks, review dosage instructions, identify duplicate therapy, counsel patients, and communicate concerns to prescribers. They may also help patients understand adverse effects and recognize situations in which further clinical evaluation is needed. Their contribution is especially valuable when records are fragmented or when a patient receives treatment from several providers. Effective collaboration requires clear communication pathways and appropriate recognition of each professional's responsibilities.

Multidisciplinary coordination extends the scope of safety management beyond medication review. Physicians and addiction specialists evaluate diagnoses, select treatments, and manage complications. Nurses may monitor symptoms, support administration, and reinforce counseling. Mental health professionals can address psychological factors affecting treatment engagement, while social workers and community-based services may help reduce barriers involving transport, housing, or access to care. These contributions are complementary, and their effectiveness depends on reliable information exchange and continuity across the treatment pathway.

Organizational pharmacovigilance should incorporate clear procedures for recognizing and escalating serious medication-related concerns. Healthcare institutions should define reporting responsibilities, documentation requirements, communication pathways, and processes for reviewing incidents. Staff training should emphasize the difference between an adverse event and an adverse drug reaction, the importance of reporting suspected reactions, and the need to preserve clinical uncertainty where causality has not been established. Feedback from incident review can help identify recurring problems and improve local procedures. An effective system should encourage reporting and learning while maintaining appropriate professional accountability.

Digital health technologies may improve medication safety by integrating prescribing records, laboratory results, and clinical observations. Electronic prescribing can support legibility and completeness, while decision-support systems can identify selected contraindications and interactions. Electronic health records can facilitate longitudinal review and improve communication across settings when information is appropriately shared. However, digital systems can also create risks if records are incomplete, alerts are poorly calibrated, or users become desensitized to excessive warnings. Their implementation should be accompanied by evaluation of data quality, usability, alert relevance, privacy, and measurable clinical benefit.

Artificial intelligence may offer additional opportunities for analyzing large volumes of pharmacovigilance information. Automated text analysis can potentially identify suspected adverse reactions in clinical notes, while predictive models may help prioritize cases for review. Such applications can improve efficiency when appropriately designed and validated, but they may also produce false positives, overlook underrepresented populations, or reproduce biases in historical data. Their performance should be evaluated using clinically relevant measures, and their outputs should remain subject to professional review. An algorithmic association should not be treated as definitive evidence that a medication caused an event.

The governance of digital information is particularly important in addiction medicine because substance use and psychiatric records can be sensitive. Data access should be restricted to

appropriate purposes, protected through suitable security measures, and managed according to applicable legal and institutional requirements. Unnecessary disclosure may expose patients to stigma or discrimination and undermine confidence in healthcare services. Patients should receive appropriate information about data use, and institutions should establish clear procedures for confidentiality, access control, retention, and incident response. Technological innovation should improve safety while preserving patient autonomy and trust.

The findings also indicate that education is an important determinant of pharmacovigilance performance. Healthcare professionals require practical knowledge of medication-specific risks, interaction mechanisms, adverse-event recognition, causality assessment, reporting systems, and risk communication. Training should be adapted to the responsibilities of different professional groups and reinforced through continuing education. Case-based learning can improve recognition of complex presentations in which medication toxicity overlaps with withdrawal, intoxication, or comorbid disease. Education should also emphasize that reporting a suspected reaction does not require proof of causality and that accurate documentation is essential for meaningful safety assessment.

Patients can contribute to pharmacovigilance by reporting unexpected symptoms, maintaining an accurate medication list, disclosing clinically relevant substance exposure, and participating in follow-up. Patient-reported outcomes may identify treatment burdens that are not fully captured by laboratory tests or routine clinical examination. These reports should be considered alongside other clinical information and investigated when appropriate. A patient-centered approach recognizes that safety is improved when individuals can raise concerns without fear of dismissal or punitive responses.

The evaluation of pharmacovigilance programmes should combine clinical outcomes with process measures. Potential indicators include the completeness of medication reconciliation, the timeliness of adverse-event documentation, the identification and resolution of prescribing discrepancies, treatment continuity, and the frequency of preventable medication-related complications. Patient-centered measures may include treatment acceptability, understanding of medication instructions, and reported barriers to adherence. Process indicators must be interpreted carefully because increased reporting may reflect improved awareness rather than increased harm. Likewise, a reduction in documented events may reflect underreporting rather than genuine improvement. A credible evaluation should therefore consider the broader context and use multiple complementary measures.

Research into pharmacovigilance in addiction treatment requires standardized definitions and transparent methodology. Differences in how studies define adverse-event severity, treatment discontinuation, adherence, and clinical improvement can limit comparability. Heterogeneous populations, variable follow-up periods, and incomplete records may further weaken conclusions. Future research should use clearly specified outcomes, appropriate analytical methods, and transparent reporting practices. Prospective investigations may help clarify medication-related risks in patients with multimorbidity, complex medication regimens, and changing patterns of substance exposure.

Real-world evidence can complement randomized trials by describing medication use and safety outcomes under routine clinical conditions. However, observational studies must account for confounding, selection bias, missing data, exposure misclassification, and differences in baseline risk. A higher observed rate of an adverse outcome among patients receiving one medicine does not necessarily indicate that the medicine caused the difference. The interpretation should consider why the treatment was selected, whether the groups were comparable, how exposure was measured, and whether alternative explanations remain plausible. Combining findings from several complementary sources can strengthen confidence in the overall assessment.

Implementation research is also needed to determine how pharmacovigilance strategies can be integrated into different healthcare settings. Specialist addiction services, primary care, emergency departments, community pharmacies, and rural facilities may differ in staffing, diagnostic capacity, information systems, and access to follow-up. Core safety principles should remain consistent, but implementation approaches may need adaptation to local circumstances. Evaluation should examine feasibility, cost, professional workload, patient acceptability, and sustainability, as well as the impact on clinically meaningful outcomes.

The benefit–risk relationship of addiction pharmacotherapy can change over time. A medication that is appropriate at treatment initiation may require reassessment after a new medical diagnosis, deterioration in organ function, introduction of an interacting drug, or change in substance exposure. Similarly, an adverse effect that was initially tolerable may become clinically important if it persists or interferes with daily functioning. Conversely, a suspected risk may be manageable through dose adjustment, correction of a contributing factor, or enhanced monitoring without abandoning effective treatment. Regular reassessment allows clinicians to respond proportionately to changes in the patient's condition.

An effective pharmacovigilance framework must therefore avoid two opposing errors: insufficient attention to medication-related harm and excessive restriction of beneficial treatment because of uncontextualized risk concerns. Both can compromise patient outcomes. Insufficient surveillance may delay the recognition of preventable complications, whereas unnecessary treatment interruption may increase exposure to the harms associated with untreated addiction. Clinical decisions should balance these considerations using the best available evidence, the patient's circumstances, and the anticipated consequences of alternative management strategies.

Overall, the results of this scientific synthesis support an integrated approach to pharmacovigilance in addiction treatment, combining individualized prescribing, medication reconciliation, adverse-event recognition, therapeutic monitoring, patient communication, multidisciplinary collaboration, and organizational learning. The strongest conceptual conclusion is that medication safety cannot be achieved through a single intervention or monitoring test. It depends on coordinated processes that identify risks before treatment, detect problems during treatment, respond appropriately when adverse events occur, and use accumulated information to improve future care. This approach can support safer prescribing, strengthen treatment continuity, and improve the quality of pharmacological care for individuals with substance use disorders.

The interpretation of safety outcomes should also consider the relationship between medication tolerability and the patient's broader experience of treatment. A pharmacological intervention may demonstrate efficacy in controlled clinical settings but achieve less favorable results in routine practice when adverse effects, administration requirements, stigma, or access barriers interfere with sustained use. Treatment acceptability is therefore an important consideration when comparing therapeutic options. Patient-reported symptoms, treatment satisfaction, and reasons for discontinuation can provide information that is not fully captured by conventional clinical endpoints. Incorporating these measures into pharmacovigilance can help distinguish pharmacological limitations from potentially modifiable problems associated with treatment delivery.

The prevention of avoidable harm should include attention to the design of prescribing and dispensing procedures. Standardized medication orders, clear documentation of dose changes, verification of patient identity within appropriate clinical systems, and consistent communication between prescribers and pharmacists can reduce opportunities for error. High-risk situations should receive additional scrutiny, including medication initiation, rapid changes in dosing, transitions between settings, and the introduction of interacting medicines. These measures

should be integrated into routine workflows rather than implemented only after an incident has occurred. Preventive systems are most useful when they are practical, consistently applied, and evaluated for their effectiveness.

A related consideration is the need to distinguish medication safety from the elimination of all medication-related risk. Complete elimination of risk is rarely achievable in clinical pharmacology, particularly when treating complex disorders with substantial untreated morbidity. The realistic objective is to identify, characterize, communicate, and reduce avoidable risks while preserving clinically meaningful therapeutic benefits. This requires transparent discussion of uncertainty, proportionate monitoring, and willingness to revise treatment when new evidence emerges. A risk-based approach is preferable to indiscriminate restriction because it recognizes differences in patient vulnerability and the relative benefits of available treatments.

The assessment of medication-related risk should also incorporate the potential consequences of untreated or undertreated substance use disorders. In opioid use disorder, interruption of effective treatment may expose patients to recurrent opioid use and overdose risk. In alcohol use disorder, inadequate treatment may contribute to recurrent hazardous consumption and associated medical complications. In nicotine dependence, failure to achieve cessation can prolong exposure to tobacco-related disease risks. These considerations do not justify overlooking adverse reactions; rather, they demonstrate why the consequences of treatment modification must be assessed alongside the potential harms of continued exposure. Clinical decision-making should evaluate the complete range of relevant outcomes rather than focusing on medication toxicity in isolation.

The integration of pharmacovigilance with harm-reduction principles is particularly important when patients experience recurrent substance use during treatment. A return to substance use does not automatically establish pharmacological treatment failure, nor does it necessarily justify discontinuation of treatment. It may indicate a need to reassess the treatment plan, examine adherence barriers, review concurrent psychiatric or medical conditions, and strengthen psychosocial support. At the same time, recurrent use can change the risk associated with prescribed medicines, especially when the substances involved have additive effects on respiratory or neurological function. A clinically responsive system must therefore reassess safety without using relapse as a reason to disengage the patient from care.

The relationship between pharmacovigilance and treatment retention deserves particular attention because retention provides an opportunity for continuing clinical assessment, counseling, and intervention. Patients who remain engaged with appropriate services may have greater opportunities to discuss adverse effects, receive medication adjustments, and address emerging health concerns. However, retention should not be interpreted as a sufficient indicator of treatment quality by itself. A patient may remain in care while experiencing inadequately managed adverse effects, or may discontinue one medication while continuing to receive effective treatment through an alternative regimen. Evaluation should therefore combine retention measures with safety outcomes, treatment response, and patient-reported experiences.

The assessment of adverse drug reactions should consider their preventability. Some reactions may arise despite appropriate prescribing and monitoring because they are inherent to the pharmacology of a medicine or reflect individual susceptibility. Others may be associated with modifiable factors, including an avoidable interaction, an inappropriate dose, failure to recognize a contraindication, insufficient counseling, or delayed follow-up. Distinguishing these categories can guide preventive strategies and improve the allocation of clinical resources. Preventability assessments should use explicit criteria and adequate documentation, because incomplete information may make it difficult to determine whether an event could reasonably have been avoided.

The prevention of medication errors should not rely exclusively on individual vigilance. Human performance is influenced by workload, interruptions, staffing, information quality, and the design of clinical systems. A prescribing error may arise because a medication list is outdated, an alert is unclear, or a treatment change has not been communicated to the receiving clinician. Effective risk management should therefore combine professional education with system-level safeguards. These may include standardized procedures, structured documentation, targeted decision support, and routine review of recurring incidents. The objective is to make correct practice easier to perform and prevent predictable errors from progressing into patient harm.

Pharmacovigilance also has implications for institutional governance and accountability. Healthcare organizations should define responsibility for safety reporting, establish processes for reviewing significant events, and ensure that relevant findings inform clinical practice. Governance arrangements should support timely responses to serious safety concerns and provide mechanisms for reviewing the effectiveness of corrective actions. Where patterns of prescribing discrepancies or adverse events emerge, institutions should examine whether existing protocols remain appropriate and whether additional training or resources are required. Continuous improvement depends on the ability to translate safety information into practical changes rather than simply documenting incidents.

At the population level, the accumulation of safety data can contribute to improved understanding of medication risks across different patient groups. Registries, cohort studies, and other structured data sources may help evaluate treatment outcomes in populations that are not fully represented in clinical trials. Nevertheless, differences in healthcare access, medication availability, prescribing practices, and documentation quality can affect the comparability of data between settings. Analyses should account for these limitations and avoid assuming that findings from one clinical environment can be transferred without qualification to another. Contextual interpretation is essential for translating research findings into practical recommendations.

The scientific development of pharmacovigilance should also consider health inequalities. Patients experiencing socioeconomic disadvantage may have reduced access to specialist care, inconsistent medication supply, limited transportation, or difficulty obtaining follow-up investigations. These barriers can affect both the probability of experiencing medication-related problems and the likelihood that those problems will be documented. Consequently, apparent differences in adverse-event reporting between populations may reflect differences in access and surveillance as well as genuine differences in clinical risk. Equitable safety systems should provide accessible reporting pathways, understandable counseling, and appropriate follow-up for patients across different healthcare settings.

The role of community pharmacies in these systems merits further consideration. Community pharmacists may be among the healthcare professionals most accessible to patients receiving long-term pharmacotherapy. Their interactions with patients can provide opportunities to identify adherence difficulties, clarify administration instructions, review newly introduced medicines, and recognize symptoms that warrant further clinical assessment. Where appropriate communication pathways exist, pharmacists can share relevant concerns with prescribers and support continuity of treatment. The extent of these activities depends on local regulations, professional scope, service capacity, and the availability of reliable clinical information. Implementation should therefore be adapted to the relevant healthcare system.

Clinical education should emphasize the importance of interpreting medication information within the patient's overall clinical context. A warning about a potential interaction is useful only when the clinician can determine whether the interaction is relevant to the specific regimen and what action is appropriate. Similarly, an abnormal laboratory result must be interpreted in relation to baseline status, symptoms, medication exposure, and other possible causes. Educational

programmes should therefore develop both technical pharmacological knowledge and clinical reasoning. Simulation, case discussion, and structured review of medication-related incidents can help professionals apply theoretical principles to complex clinical presentations.

The development of more effective pharmacovigilance also requires stronger integration between clinical practice and research. Routine clinical observations may generate questions about suspected adverse effects, while research findings may identify risks that require changes to local procedures. Institutions can support this exchange by reviewing relevant evidence, documenting recurring safety concerns, and evaluating the outcomes of practice modifications. Such integration should preserve appropriate ethical standards, privacy protections, and methodological rigor. Observations from individual cases can generate hypotheses, but broader conclusions require corroboration through suitable evidence.

The evaluation of digital pharmacovigilance systems should extend beyond technical accuracy. A system may identify a large number of possible interactions but provide limited clinical benefit if its alerts are poorly prioritized or difficult to interpret. Conversely, a focused system that identifies a smaller number of clinically consequential risks may better support decision-making. Evaluation should examine alert acceptance, clinically appropriate responses, false-positive rates, missed events, user workload, and patient outcomes. The same principles apply to artificial intelligence applications: performance should be assessed in the population and clinical environment in which the system is intended to operate, with ongoing review when data patterns or clinical practices change.

Data governance should be integrated into the development and evaluation of such systems from the outset. Clinical records used for safety analysis should be handled according to appropriate legal, ethical, and institutional requirements. Data quality controls should identify incomplete or inconsistent records, while access restrictions should protect sensitive information. Where algorithms are used to prioritize patients or classify suspected reactions, their performance should be examined for systematic differences across relevant population groups. Transparent governance can help ensure that digital innovation strengthens patient safety without creating new forms of inequity or undermining confidence in healthcare services.

Another important research priority is the investigation of medication safety over longer periods. Short-term clinical studies may identify immediate adverse effects but provide limited information about cumulative exposure, treatment persistence, changes in organ function, or the consequences of repeated treatment interruption. Longitudinal research can help clarify how safety profiles evolve as patients age, develop additional conditions, or receive new medicines. Such studies require appropriate follow-up, reliable exposure measurement, and methods for accounting for changes in treatment over time. The resulting evidence can inform more responsive monitoring strategies and support better-informed discussions of long-term benefit–risk relationships.

Research should also examine whether pharmacovigilance interventions improve clinically meaningful outcomes rather than merely increasing reporting activity. An educational programme may increase the number of submitted adverse-event reports, but its clinical value depends partly on whether it improves detection, management, and prevention of harmful reactions. A medication reconciliation intervention may identify discrepancies, but further evaluation is needed to determine whether the discrepancies are resolved and whether patient outcomes improve. Similarly, an electronic alert system may increase the frequency of clinician reviews without necessarily reducing adverse events. Evaluation should therefore distinguish process improvement from demonstrated clinical benefit.

The use of standardized terminology and outcome definitions can strengthen this research agenda. Consistent classification of adverse reactions, medication errors, treatment

discontinuation, and clinically important outcomes enables more meaningful comparisons across institutions and studies. Standardization should not remove clinically relevant detail, however, because the circumstances surrounding an event may determine its interpretation and preventability. Structured data fields should therefore be complemented by narrative clinical information where appropriate. A combination of standardized classification and sufficiently detailed documentation can improve both analytical reliability and practical usefulness.

The interpretation of safety findings should remain proportionate to the available evidence. A suspected association may justify closer observation or further investigation without immediately requiring a change in treatment recommendations. More substantial evidence may support modification of prescribing procedures, additional monitoring, or a change in the balance of treatment options. Decisions should consider the consistency of findings, the seriousness of the potential outcome, the biological plausibility of the association, and the availability of alternatives. Clear communication of uncertainty is necessary to avoid both unwarranted reassurance and disproportionate concern.

The relationship between medication safety and patient autonomy is another important consideration. Patients should be supported in making informed decisions about treatment, including understanding the reasons for monitoring and the potential consequences of different therapeutic options. Counseling should not rely solely on directives or warnings; it should explain the clinical rationale for recommendations and allow patients to raise concerns. When patients understand the purpose of a safety measure, they may be better able to participate in monitoring and report relevant changes. Respectful communication can therefore support both autonomy and the practical effectiveness of pharmacovigilance.

The findings collectively indicate that pharmacovigilance in addiction treatment should be understood as a continuous process of clinical assessment, risk identification, monitoring, reporting, intervention, and learning. Its effectiveness depends on the integration of pharmacological knowledge with patient-specific information, reliable communication, and organizational support. The approach must recognize differences among medications, avoid unsupported causal conclusions, and account for the risks associated with both medication exposure and inadequately treated addiction. A comprehensive system should be capable of identifying emerging problems while preserving access to effective, individualized care.

The scientific analysis supports the integration of pharmacovigilance into every clinically relevant stage of addiction pharmacotherapy. Appropriate medication selection, accurate prescribing, medication reconciliation, recognition of adverse drug reactions, individualized monitoring, patient-centered counseling, and multidisciplinary coordination form complementary elements of this process. Digital tools and real-world data may strengthen safety surveillance when they are appropriately validated and governed, while continued professional education and implementation research can support consistent practice. The ultimate objective is not simply to document adverse events, but to transform safety information into clinically appropriate action, reduce preventable harm, preserve treatment continuity, and improve the quality of care for individuals receiving pharmacological treatment for substance use disorders.

Pharmacovigilance in addiction treatment concerns the systematic evaluation of medication safety across the entire therapeutic pathway, from initial diagnostic assessment and treatment selection to dose titration, maintenance therapy, treatment interruption, and long-term follow-up. Safety cannot be adequately characterized by examining an individual prescription or isolated adverse event without considering the sequence of clinical decisions that preceded the event. A medication may be appropriately selected at treatment initiation but become less suitable after changes in renal function, hepatic metabolism, nutritional status, concurrent medication use, or the patient’s pattern of substance consumption. Consequently, pharmacovigilance should be

understood as a longitudinal clinical process that continuously reassesses the relationship between therapeutic exposure, individual susceptibility, treatment response, and emerging risk.

The temporal dimension of adverse drug reactions is particularly important in addiction pharmacotherapy. Certain reactions occur shortly after treatment initiation or dose escalation, whereas others develop gradually through cumulative exposure, metabolic adaptation, or the interaction of multiple risk factors. Early-onset reactions may include excessive sedation, gastrointestinal intolerance, orthostatic symptoms, allergic manifestations, or acute changes in mental status. Delayed reactions may involve endocrine disturbances, metabolic abnormalities, persistent cognitive complaints, hepatic injury, or complications associated with prolonged polypharmacy. These differences influence the appropriate timing of clinical assessments and laboratory investigations. A monitoring strategy designed exclusively around the first days of treatment may fail to detect delayed toxicity, while infrequent follow-up during initiation may overlook rapidly developing complications. Effective safety surveillance therefore requires a schedule proportionate to the pharmacological properties of the medication, the clinical condition being treated, and the patient's evolving risk profile.

Dose-related toxicity represents another major consideration in the evaluation of medications used for substance use disorders. The relationship between dose and adverse effects is not necessarily linear, and the dose associated.

The interpretation of dose-dependent toxicity in addiction pharmacotherapy requires a comprehensive understanding of pharmacokinetic variability, pharmacodynamic sensitivity, active metabolites, cumulative exposure, and the clinical circumstances in which medications are administered. A prescribed dose that is tolerated by one individual may produce clinically significant toxicity in another because of differences in drug absorption, distribution, metabolism, elimination, receptor sensitivity, and physiological reserve. These differences become particularly consequential when treatment involves opioid agonists, medications with sedative properties, drugs that influence cardiac electrophysiology, or agents whose clearance depends substantially on hepatic enzyme activity. Accordingly, pharmacovigilance should not regard the recommended dose as an absolute guarantee of safety; rather, it should evaluate the dose in relation to the individual patient, the treatment objective, concurrent exposures, and the observed clinical response.

Therapeutic optimization must distinguish between an unnecessarily high dose, an appropriate dose associated with an unpredictable adverse reaction, and an insufficient dose that compromises treatment effectiveness. These situations require different clinical responses. Excessive exposure may necessitate dose reduction, modification of administration frequency, or substitution with an alternative medicine. An unpredictable reaction may require immediate discontinuation or another intervention depending on its severity, causality, and reversibility. Conversely, inadequate dosing may increase the probability of persistent withdrawal symptoms, craving, recurrent substance use, and disengagement from treatment. In opioid use disorder, for example, undertreatment with an opioid agonist may leave clinically significant symptoms insufficiently controlled, whereas overly rapid escalation or failure to account for concurrent central nervous system depressants may increase the risk of sedation and respiratory compromise. The central pharmacotherapeutic objective is therefore to establish an individualized therapeutic balance rather than simply minimize medication exposure.

This distinction has important implications for the interpretation of medication safety indicators. A low frequency of reported adverse reactions does not necessarily demonstrate optimal prescribing if patients receive inadequate treatment, discontinue medication prematurely, or avoid reporting symptoms. Likewise, a high frequency of adverse-event reports does not automatically indicate inappropriate prescribing, because intensive monitoring, improved

reporting systems, or broader access to treatment may increase event detection. Safety indicators should consequently be interpreted alongside measures of therapeutic effectiveness, treatment retention, symptom control, quality of life, and preventable clinical deterioration. An integrated evaluation should examine whether a treatment strategy achieves meaningful clinical benefit at an acceptable level of risk and whether identified harms can be reduced without sacrificing essential therapeutic outcomes.

Individual susceptibility to adverse drug reactions is also shaped by the interaction between substance use patterns and physiological adaptation. Repeated exposure to particular substances can alter receptor responsiveness, metabolic pathways, autonomic regulation, sleep architecture, nutritional status, and the clinical expression of coexisting disorders. When substance consumption decreases or stops, the resulting physiological changes may modify the response to medications that were previously tolerated. A pharmacological regimen that appeared stable during active substance use may therefore require reassessment during withdrawal, early abstinence, or sustained recovery. The clinical significance of these transitions depends on the substance involved, the duration and intensity of exposure, the patient's medical condition, and the pharmacological characteristics of the prescribed treatment.

Cross-tolerance and incomplete cross-tolerance create additional complexity. Tolerance to one substance does not reliably predict the degree of tolerance to another substance, and tolerance to a particular pharmacological effect does not necessarily develop at the same rate as tolerance to other effects. A person who has developed substantial tolerance to the subjective effects of an opioid may remain vulnerable to respiratory depression, particularly when opioids are combined with alcohol, benzodiazepines, or other sedating medicines. Moreover, tolerance may diminish after a period of abstinence or reduced consumption. If a person subsequently returns to a previously tolerated level of substance exposure, the risk of overdose may increase substantially. Pharmacovigilance must therefore incorporate changes in tolerance into clinical risk assessment, discharge planning, relapse-prevention strategies, and patient education.

Medication safety assessment should also recognize the distinction between pharmacological dependence, physiological adaptation, withdrawal phenomena, and a substance use disorder. These concepts are related but are not interchangeable. Physiological dependence may develop during appropriate therapeutic use of certain medicines, and the emergence of withdrawal symptoms following abrupt discontinuation does not, by itself, establish compulsive or harmful medication use. Conversely, the absence of overt withdrawal symptoms does not exclude problematic use or clinically significant medication-related harm. Accurate differentiation supports appropriate prescribing, prevents stigmatizing interpretations, and reduces the likelihood that necessary treatment will be withheld because physiological adaptation has been incorrectly interpreted as evidence of addiction.

The discontinuation phase deserves the same degree of pharmacovigilance attention as treatment initiation. Abrupt cessation of certain medications can produce rebound symptoms, physiological instability, or clinically significant withdrawal. The magnitude of this risk depends on the medication, dose, duration of treatment, underlying condition, and individual vulnerability. For some therapies, a supervised taper may be appropriate; for others, discontinuation may be immediate when a serious adverse reaction or another urgent clinical indication makes continued exposure unsafe. The decision should be guided by the balance between the risks of continued treatment and those associated with withdrawal or recurrence of the treated disorder. Patients should receive clear instructions about the symptoms that require urgent assessment and the circumstances in which they should contact the prescribing clinician.

The possibility of treatment discontinuation because of adverse effects introduces a further safety consideration. An individual who experiences nausea, dizziness, sleep disturbance, sexual dysfunction, emotional blunting, or persistent fatigue may independently reduce a dose, skip administrations, or stop treatment without informing the clinical team. Such behavior can be interpreted incorrectly as nonadherence when it actually reflects an unresolved tolerability problem. Clinicians should therefore investigate the reasons for interrupted treatment rather than automatically classifying it as patient misconduct. A nonjudgmental discussion can identify whether the difficulty is related to adverse effects, misunderstanding, practical barriers, stigma, cost, treatment expectations, or insufficient therapeutic benefit. The resulting information can support dose adjustment, a change of medication, additional counseling, or a more accessible monitoring arrangement.

The assessment of medication safety also requires attention to the distinction between an adverse drug reaction and a symptom caused by the underlying disorder. Anxiety, insomnia, sweating, gastrointestinal disturbance, tremor, agitation, impaired concentration, and changes in appetite may occur during withdrawal, reflect psychiatric or medical comorbidity, or arise as consequences of a medication. Several mechanisms may coexist in the same patient. Attributing all new symptoms to withdrawal can delay recognition of drug-induced toxicity, while attributing every symptom to medication can lead to unnecessary discontinuation of an effective therapy. A structured clinical assessment should consider symptom onset, dose changes, temporal associations, concurrent substance exposure, objective findings, previous episodes, and the evolution of symptoms after a clinically appropriate intervention.

The use of dechallenge and rechallenge information can sometimes contribute to causality assessment, but such evidence must be interpreted cautiously. Improvement after discontinuation may support a suspected medication relationship, although spontaneous recovery, treatment of another condition, or simultaneous changes in substance exposure may provide alternative explanations. Recurrence after re-exposure may strengthen the causal hypothesis, but deliberate rechallenge is not appropriate when the suspected reaction is severe, potentially fatal, or otherwise associated with unacceptable risk. Clinical safety investigations should prioritize patient welfare over the desire to establish definitive causality. When the available evidence is insufficient, the event should be documented with an explicit degree of uncertainty rather than assigned an unjustifiably certain explanation.

A further priority is the prevention of avoidable harm arising from fragmented prescribing. Individuals receiving addiction treatment may obtain medicines from primary care clinicians, psychiatrists, emergency departments, hospital specialists, dental practitioners, and community pharmacies. If these professionals do not have access to a sufficiently complete medication history, they may inadvertently prescribe interacting agents, duplicate therapy, or medicines that require additional precautions. Fragmentation is especially problematic when treatment transitions occur rapidly, when patients move between healthcare institutions, or when acute illnesses necessitate short-term prescriptions. Medication reconciliation should therefore be undertaken at clinically important transitions and should include prescribed medicines, nonprescription products, supplements, recently discontinued agents, and relevant substance exposures.

A comprehensive medication history should distinguish between the medication list recorded in the clinical system and the medicines the patient actually takes. Prescriptions may remain active in electronic records after discontinuation, while medications obtained outside the usual healthcare pathway may be omitted entirely. Patients may also use medicines intermittently, alter administration schedules, or share incomplete information because of concerns about judgment or legal consequences. The clinician should establish the actual pattern of use through respectful,

specific questioning and, where appropriate and lawful, corroboration with pharmacy dispensing records or other clinical documentation. Discrepancies should be treated as opportunities to improve safety rather than as automatic evidence of intentional deception.

The clinical relevance of medication reconciliation extends beyond identifying drug–drug interactions. It can reveal duplicate ingredients in combination products, inappropriate dosing intervals, conflicting instructions, medicines prescribed for conditions that are no longer present, and potentially hazardous use of sedating agents. It can also identify omissions in which a clinically necessary treatment has been unintentionally interrupted. In addiction medicine, an omitted maintenance medication may contribute to withdrawal, destabilization, or treatment disengagement, while the unrecognized continuation of a discontinued sedative may increase toxicity risk. Reconciliation should therefore evaluate both excessive exposure and unintended underexposure.

Medication-related harm may also arise from errors in communication rather than from the pharmacological properties of a drug itself. Verbal instructions may be misunderstood, discharge documentation may omit important changes, and medication names or strengths may be confused when products have similar packaging or terminology. These risks are particularly significant when patients receive several medicines with different administration schedules or when care is delivered across multiple institutions. Standardized medication lists, explicit documentation of dose changes, clear explanations of discontinued therapies, and confirmation of patient understanding can reduce these preventable failures. Where communication occurs across languages, the use of professional interpretation and translated instructions may be necessary to ensure that the intended regimen is understood accurately.

The safe use of long-acting formulations introduces distinct operational considerations. Such formulations may improve treatment continuity for selected patients by reducing the frequency of administration and limiting the need for daily medication management. However, their prolonged pharmacological activity can complicate the management of adverse reactions because exposure may persist after the decision to discontinue treatment. Appropriate patient selection, informed consent, correct administration technique, reliable follow-up, and clear arrangements for managing missed appointments are therefore essential. The potential benefits of reduced dosing frequency should be balanced against the consequences of delayed recognition of toxicity, difficulties reversing exposure, and the need for continuity between the administering service and other healthcare professionals.

Long-acting injectable treatments also require careful documentation of the product, dose, administration date, injection site when clinically relevant, and planned follow-up. Incomplete records can lead to duplicate administration or uncertainty about whether a dose has been given. Systems should provide clear mechanisms for communicating treatment status when a patient presents to an emergency department or transfers to another healthcare facility. If an adverse reaction is suspected, clinicians need sufficiently precise information to evaluate the relationship between the event and the administration schedule. Such documentation is an essential component of medication traceability and supports both individual patient management and broader pharmacovigilance analysis.

The pharmacological management of alcohol use disorder illustrates the need to consider treatment selection, organ function, psychiatric comorbidity, and patient goals simultaneously. Different medications have distinct mechanisms, contraindications, tolerability profiles, and evidence bases. Selection should reflect the clinical context rather than a universal assumption that one agent is appropriate for all patients. For example, hepatic status may influence the suitability of particular therapies, while renal impairment may affect the use or dosing of others.

Current alcohol consumption, the possibility of concurrent opioid use, previous treatment experience, and the patient's willingness to follow a particular administration schedule may also influence the safety and feasibility of treatment. The presence of multiple clinical considerations makes individualized assessment essential.

Pharmacovigilance in alcohol use disorder must further distinguish the risks associated with medication exposure from those associated with alcohol consumption itself. Alcohol can contribute to falls, gastrointestinal complications, cardiovascular instability, liver injury, sleep disruption, cognitive impairment, and injuries. It may also alter the safety profile of concurrently administered medicines. If these outcomes are recorded without adequate contextual information, alcohol-related complications may be misclassified as adverse drug reactions, or genuine medication-related contributions may be overlooked. Clinical records should therefore document the timing and approximate pattern of alcohol exposure when relevant, the medications taken, the onset of symptoms, and other plausible explanations for the event.

The management of alcohol withdrawal requires particularly careful separation from long-term relapse-prevention pharmacotherapy. Withdrawal can involve autonomic hyperactivity, agitation, tremor, seizures, and delirium, with severity varying according to the patient's history and clinical condition. Treatment decisions should be guided by an appropriate assessment of withdrawal risk, medical stability, and the need for supervised care. Medicines used to control withdrawal may themselves cause sedation, respiratory depression, impaired coordination, or other adverse effects, particularly when combined with alcohol or other central nervous system depressants. The clinical objective is not simply to suppress symptoms but to provide adequately monitored treatment that reduces the risk of serious complications while addressing coexisting medical and psychiatric conditions.

In opioid use disorder, the comparative evaluation of agonist and antagonist treatment strategies should incorporate both pharmacological efficacy and the practical consequences of treatment delivery. Methadone and buprenorphine have established roles in opioid agonist treatment, while extended-release naltrexone is an option for appropriately selected patients who have completed the necessary opioid-free interval. These approaches differ in their initiation requirements, receptor pharmacology, adverse-effect profiles, risks during induction, and implications for treatment continuity. A pharmacovigilance framework should assess whether the selected strategy is clinically appropriate, whether the initiation process has been completed safely, and whether the patient can access continued treatment without unnecessary interruption.

The induction phase of opioid agonist treatment requires particular attention to the relationship between recent opioid exposure, withdrawal status, dose selection, and individual sensitivity. Buprenorphine can precipitate withdrawal when initiated under inappropriate circumstances in a person with relevant levels of full opioid agonist activity. Methadone has a long and variable elimination half-life, and its effects may accumulate during repeated administration even when early subjective effects appear insufficient. These differences make the timing and pace of initiation clinically important. Monitoring should assess withdrawal symptoms, sedation, respiratory status when indicated, concurrent medication use, and evidence of unexpected deterioration. Protocols should be individualized within evidence-based clinical guidance rather than applied mechanically without regard to the patient's presentation.

The risk of precipitated withdrawal also demonstrates why patients require accurate and comprehensible explanations of treatment initiation. If the rationale for timing is poorly communicated, a patient may interpret the required waiting period as an unnecessary barrier and abandon treatment. Clear counseling should explain the purpose of the induction plan, the symptoms that require clinical attention, and the available options if the initial approach proves difficult. For patients who have previously experienced severe withdrawal, anticipatory support

and an individualized initiation strategy may be particularly important. The pharmacovigilance objective includes preventing avoidable distress and treatment failure, not merely documenting severe physiological events after they occur.

The use of buprenorphine in the presence of other sedating substances requires a nuanced risk assessment. Its pharmacological properties can confer a different respiratory safety profile from that of full opioid agonists, but this does not eliminate the possibility of serious toxicity, particularly in the context of benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, or other respiratory depressants. A categorical approach that assumes either complete safety or inevitable harm is inconsistent with individualized clinical assessment. Where opioid use disorder is present, withholding effective medication solely because a patient also uses sedatives may expose the patient to substantial risks associated with untreated opioid use disorder. Instead, the clinical team should evaluate the specific pattern of exposure, optimize treatment, address concurrent sedative use, provide overdose-prevention interventions, and establish appropriate monitoring.

The safety of methadone treatment also requires consideration of cardiac electrophysiology, drug interactions, and individual risk factors. Methadone can prolong the QT interval in susceptible individuals, potentially increasing the risk of torsades de pointes and other clinically significant arrhythmias. The risk is influenced by factors such as dose, electrolyte abnormalities, underlying cardiac disease, and concurrent medicines that affect cardiac repolarization or methadone metabolism. Clinical assessment should identify patients for whom electrocardiographic evaluation is indicated and should correct modifiable contributors where possible. An abnormal result should be interpreted in context, with decisions informed by the degree of prolongation, symptoms, coexisting risk factors, and the consequences of changing treatment. Abrupt or poorly coordinated discontinuation can itself create harm, so cardiac risk management should be systematic and clinically proportionate.

The evaluation of QT prolongation should also account for measurement uncertainty and transient physiological influences. Electrocardiographic results can vary with heart rate, recording conditions, and the correction formula used. Electrolyte disturbances, acute illness, and multiple interacting medicines may alter risk over time. A single measurement should not always be interpreted as a complete representation of the patient's long-term cardiac status. Where clinically appropriate, repeat assessment and correction of reversible factors may clarify the significance of an abnormal result. Documentation should distinguish the observed electrocardiographic finding from the inferred risk and should identify the reasoning behind any medication modification.

Medication interactions involving cytochrome P450 enzymes can alter exposure to several treatments used in addiction medicine. Enzyme inhibition may increase concentrations of susceptible medicines, whereas enzyme induction may reduce concentrations and compromise effectiveness. Importantly, the clinical consequences of an interaction depend on the specific drug, the strength and duration of the metabolic effect, the presence of active metabolites, and the patient's underlying physiology. When an interacting medicine is started or stopped, the effect may not appear immediately, particularly when enzyme induction or inhibition persists beyond the period of administration. A medication review should therefore consider not only the current list of medicines but also recent changes and the expected time course of their effects.

The introduction of antimicrobial therapy provides one example of a clinical situation in which interaction risk may change rapidly. A patient receiving stable addiction pharmacotherapy may require treatment for an acute infection, and the selected antimicrobial may affect the metabolism of the maintenance medication or independently influence cardiac electrophysiology. The prescribing clinician should evaluate the necessity of the antimicrobial, available alternatives, the

severity of the infection, and the potential interaction with existing treatment. If the interacting combination is clinically necessary, an appropriate monitoring and follow-up plan may reduce the risk of destabilization or toxicity. Such cases illustrate why medication safety cannot be managed exclusively within a single specialty.

The same principle applies to psychiatric medicines, including antidepressants, antipsychotics, mood stabilizers, and medications used to treat anxiety or insomnia. Psychiatric comorbidity is common among people receiving addiction treatment, and appropriate treatment may improve functioning, engagement, and long-term outcomes. However, the combination of several psychotropic agents can increase the burden of sedation, orthostatic hypotension, metabolic effects, cardiac risk, or other adverse reactions. The presence of addiction should not lead to the automatic exclusion of otherwise indicated psychiatric treatment. Instead, clinicians should define the therapeutic target for each medicine, evaluate the evidence supporting its use, identify overlapping adverse-effect profiles, and periodically reassess whether the combined regimen remains necessary and tolerable.

The prevention of medication-related harm in patients with co-occurring depression or anxiety requires particular sensitivity to the distinction between symptom improvement, adverse effects, and emerging clinical deterioration. Sleep changes, agitation, reduced concentration, emotional instability, and changes in energy may reflect the underlying psychiatric disorder, substance withdrawal, medication effects, or combinations of these factors. Monitoring should therefore be linked to the patient's baseline presentation and the expected time course of the treatment. If symptoms worsen after initiation or dose adjustment, the clinical team should evaluate the potential contribution of the medicine while also considering changes in substance use, psychosocial stressors, and other medical explanations.

The use of benzodiazepines in individuals with substance use disorders requires a carefully documented rationale and a clear plan for monitoring, duration, and discontinuation where relevant. These medicines may be indicated in selected clinical situations, including supervised management of alcohol withdrawal, but prolonged or poorly coordinated use can introduce risks involving sedation, impaired psychomotor performance, falls, physiological dependence, and potentially dangerous interactions with opioids or alcohol. Risk mitigation should be proportionate to the clinical indication and should avoid simplistic assumptions that every patient with a substance use disorder has the same level of vulnerability. When continued benzodiazepine treatment is necessary, the clinical team should define its purpose, assess ongoing benefit, review alternative approaches where appropriate, and ensure that any dose reduction is managed safely.

The safety evaluation of gabapentinoids, including gabapentin and pregabalin, provides another example of the need to assess medication exposure within the broader clinical context. These medicines have legitimate indications, but their potential to contribute to sedation, dizziness, impaired coordination, and respiratory complications when combined with opioids or other central nervous system depressants warrants attention. Their use should be supported by a clearly defined indication, an appropriate assessment of renal function, and periodic review of therapeutic benefit. Clinicians should distinguish between treatment intended to address a specific neurological or psychiatric condition and prescribing that continues without a demonstrable clinical objective. When misuse risk or problematic co-administration is suspected, the appropriate response is a structured clinical assessment and individualized risk reduction rather than an automatic assumption that the medication is unnecessary.

The management of stimulant use disorder raises different pharmacovigilance questions because the available pharmacological approaches, evidence base, and regulatory status of interventions differ from those associated with opioid or alcohol use disorder. Where medications are

prescribed for co-occurring conditions or used within a specialist treatment strategy, safety assessment should address cardiovascular status, blood pressure, heart rate, sleep, appetite, mood, and potential interactions with other psychoactive substances. The possibility of concurrent stimulant exposure may complicate interpretation of tachycardia, agitation, anxiety, insomnia, or chest discomfort. These symptoms should not be attributed reflexively to either prescribed medication or illicit substance use without examining the clinical presentation, exposure history, and relevant investigations.

Prescribing psychostimulants to individuals with co-occurring attention-deficit/hyperactivity disorder and substance use disorder illustrates the importance of individualized assessment and the avoidance of categorical clinical assumptions. In appropriately selected patients, treatment may improve the symptoms of the co-occurring disorder, while insufficiently supervised prescribing may introduce risks related to misuse, diversion, sleep disruption, cardiovascular effects, or psychiatric destabilization. A robust approach should establish the diagnosis, assess treatment goals, select a formulation appropriate to the clinical circumstances, and determine the frequency of follow-up according to the individual's risk profile. When concerns arise, clinicians should consider the totality of the evidence rather than relying on a single behavioral indicator or an isolated urine drug test.

The interpretation of toxicological testing requires particular caution in pharmacovigilance investigations. Immunoassay screening methods may produce false-positive or false-negative results, and the detection window varies according to the substance, assay, specimen, timing, and individual physiological characteristics. Some prescribed medicines or their metabolites may cross-react with screening assays, while certain synthetic or semisynthetic substances may not be reliably detected by routine panels. A positive result therefore does not necessarily establish the exact substance consumed, the quantity taken, the timing of exposure, or the presence of clinical impairment. When the result has substantial consequences for treatment decisions, confirmatory testing and clinical interpretation may be necessary. Testing should be used to improve care and clarify exposure, not as a substitute for a comprehensive assessment or as an automatic justification for discontinuing treatment.

Biological monitoring also has limitations when used to assess adherence. The absence of a detectable medication in a specimen may reflect timing, assay sensitivity, metabolism, sample characteristics, or an incomplete testing panel rather than deliberate nonadherence. Conversely, detection of a medicine or metabolite does not prove that the prescribed regimen has been followed consistently or that the medication has produced the expected therapeutic effect. Clinicians should interpret laboratory findings alongside the medication history, dispensing information, clinical response, and the patient's account. A transparent explanation of the purpose and limitations of testing can strengthen trust and reduce the risk of punitive decisions based on uncertain evidence.

The pharmacovigilance implications of polysubstance exposure extend beyond conventional drug–drug interactions. Alcohol, opioids, sedatives, stimulants, cannabis, and other psychoactive substances may exert overlapping, opposing, or sequential effects on physiological systems. Their combined effects can be difficult to predict because the timing, potency, composition, and quantity of nonprescribed substances may be uncertain. An individual may also consume a substance after taking a prescribed medicine without recognizing that the combination creates additional risk. Clinical risk communication should therefore use concrete examples and explain the mechanisms relevant to the particular treatment regimen. General warnings are less useful when patients cannot identify which combinations are most concerning or what actions to take if exposure has already occurred.

Overdose prevention should be incorporated into pharmacovigilance as a proactive clinical intervention rather than treated solely as a response to an emergency. People receiving opioid treatment should be offered appropriate education about overdose recognition, emergency response, reduced tolerance following abstinence, and the role of naloxone where indicated. Education should also address the dangers of combining opioids with alcohol or sedatives and the importance of avoiding the assumption that a previously tolerated dose remains safe after a period of reduced consumption. These discussions should be repeated at clinically relevant intervals, particularly after treatment interruption, hospitalization, changes in medication, or a return to substance use following abstinence.

The provision of naloxone illustrates the distinction between preventing harm and changing the underlying pharmacological treatment strategy. Naloxone can reverse opioid-mediated respiratory depression, but its effect may be shorter than that of the opioid involved in an overdose. Recurrent toxicity may therefore occur after an initial response, and emergency medical assessment remains important. Patients and people likely to witness an overdose should receive clear instructions on recognizing respiratory compromise, administering naloxone according to product guidance, seeking emergency assistance, and providing further support as appropriate. Pharmacovigilance programs should evaluate not only whether naloxone is prescribed or dispensed but also whether recipients understand its use and can access it when needed.

The quality of overdose-related data can be improved by documenting the circumstances surrounding the event, including prescribed medications, known or suspected co-exposures, recent treatment interruption, and the availability of emergency interventions. However, uncertainty should be explicitly recorded when the substance involved or the precise sequence of events cannot be established. In fatal and nonfatal overdoses alike, incomplete information may lead to erroneous attribution to a single drug when several substances or clinical factors contributed. Multidisciplinary review can help identify preventable prescribing problems, failures of care coordination, gaps in patient education, or barriers to timely access to treatment.

The clinical management of overdose survivors presents a further opportunity for pharmacovigilance intervention. Following stabilization, the care team should assess whether the event was associated with an unintended dosing error, a harmful interaction, reduced tolerance, intentional self-harm, an unpredictable substance composition, or another mechanism. These explanations are not mutually exclusive, and the assessment should avoid assuming a single cause before sufficient information is available. The event should prompt a review of ongoing treatment needs, overdose-prevention measures, access to medication for substance use disorder, and the availability of psychosocial support. Discharging a patient without addressing the factors that contributed to the event may leave preventable risks unchanged.

Another important issue is the relationship between pain management and addiction pharmacotherapy. Acute pain, chronic pain, surgery, trauma, and palliative care may require additional analgesic treatment in individuals receiving medication for opioid use disorder. Inadequate pain management can itself cause substantial harm, while inappropriate prescribing may increase the risk of sedation, overdose, or destabilization of recovery. The optimal approach depends on the clinical indication, the current maintenance medication, the severity of pain, previous treatment experience, and the expected duration of analgesia. Coordination between addiction specialists, surgeons, anesthesiologists, pain clinicians, pharmacists, and primary care providers can reduce contradictory instructions and prevent unintended treatment interruption.

The presence of opioid use disorder should not be interpreted as evidence that a patient's pain is exaggerated or that analgesia is unnecessary. Pain should be assessed using appropriate clinical methods, and treatment decisions should be based on the patient's condition and the available

evidence. At the same time, clinicians should consider opioid tolerance, potential interactions, respiratory vulnerability, and the need for continuity of maintenance treatment. Where additional opioid analgesia is clinically indicated, its use should be accompanied by an explicit plan for dosing, monitoring, reassessment, and coordination after discharge. Pharmacovigilance can help identify whether adverse outcomes arise from the analgesic itself, interactions with existing medicines, gaps in monitoring, or fragmentation of care.

Transitions between inpatient and outpatient treatment are especially vulnerable periods for medication-related errors. Hospitalization may introduce new medicines, alter existing doses, interrupt access to maintenance therapy, or create uncertainty about which clinician is responsible for subsequent prescribing. Discharge instructions may contain conflicting medication lists, and community providers may not receive information about temporary treatments or relevant adverse events. A structured transition process should reconcile the medication regimen, document the reason for each major change, communicate pending investigations, and identify the professional responsible for follow-up. For patients at elevated risk of overdose or withdrawal, arrangements should be made to minimize avoidable gaps in treatment.

The management of hepatic impairment is central to the safety assessment of several medications used in addiction treatment. Liver dysfunction can alter drug metabolism, protein binding, and the clearance of active compounds, while the clinical manifestations of hepatic disease may overlap with symptoms attributed to medication toxicity. Fatigue, nausea, pruritus, jaundice, abdominal discomfort, and changes in mental status require interpretation in relation to the underlying condition and the medicines involved. Baseline assessment and follow-up investigations should be selected according to the medication, the patient's history, and the clinical indication. Abnormal laboratory findings should be interpreted in conjunction with the overall pattern of results, symptom development, and possible alternative causes.

Hepatotoxicity investigations should distinguish between biochemical abnormalities, clinically apparent liver injury, and severe hepatic dysfunction. A mild isolated elevation in a liver enzyme does not necessarily indicate that a medication must be stopped immediately, whereas a concerning pattern accompanied by symptoms, impaired synthetic function, or progressive deterioration may require urgent evaluation. The suspected medication, timing of exposure, competing causes, and the trajectory of laboratory findings all contribute to the assessment. Alcohol exposure, viral hepatitis, metabolic liver disease, and other medications may coexist and complicate causal interpretation. A standardized approach to documentation can improve the consistency of clinical decisions and reduce both unnecessary discontinuation and delayed recognition of serious injury.

Renal impairment similarly influences medication safety through altered elimination, changes in fluid and electrolyte balance, and the increased prevalence of comorbid conditions requiring additional medicines. Some treatments or metabolites may accumulate when renal clearance is reduced, increasing the probability of adverse effects. Assessment should therefore consider whether the prescribed regimen remains appropriate when renal function changes and whether an acute illness may temporarily alter drug handling. Particular attention may be needed when dehydration, infection, or other physiological stressors occur. The medication plan should be reviewed after clinically significant changes rather than relying indefinitely on an earlier assessment.

Electrolyte disturbances deserve attention because they may contribute to arrhythmia risk, neurological symptoms, muscle weakness, or altered responses to medicines. Vomiting, diarrhea, poor nutrition, heavy alcohol consumption, and certain concomitant medications may contribute to electrolyte abnormalities. When a patient receiving a medication associated with cardiac risk develops symptoms or has additional risk factors, the clinical team should evaluate whether

electrolyte measurement and correction are indicated. The objective is to identify modifiable contributors to toxicity without subjecting every patient to indiscriminate testing. Monitoring intensity should reflect the expected clinical value of the investigation and the probability that its findings will alter management.

Nutritional status is another clinically relevant but sometimes underrecognized determinant of medication tolerability. Individuals experiencing prolonged heavy alcohol consumption, unstable housing, food insecurity, or severe psychosocial stress may have inadequate nutritional intake or associated physiological disturbances. Nutritional deficiencies can contribute to neurological manifestations, fatigue, impaired immune function, and reduced resilience during treatment. These symptoms may be misattributed to psychiatric illness, withdrawal, or medication adverse effects if nutritional factors are not considered. A comprehensive assessment should identify relevant nutritional risks and arrange appropriate evaluation and intervention where indicated. Pharmacovigilance is strengthened when clinicians recognize that medication exposure occurs within a broader physiological and social environment.

Frailty and reduced physiological reserve may further modify the consequences of adverse drug reactions. Although frailty is often associated with older age, vulnerability can also arise in younger individuals with severe chronic disease, malnutrition, or prolonged exposure to harmful substances. Reduced balance, impaired cognition, low muscle mass, and diminished organ function may increase the consequences of sedation, hypotension, and falls. A dose that produces only mild dizziness in a healthier individual may cause a serious injury in someone with limited physiological reserve. Risk assessment should therefore consider functional status and the potential consequences of an adverse effect, not simply the probability that the effect will occur.

Falls represent an important safety outcome because they may result from several interacting factors, including intoxication, withdrawal, orthostatic hypotension, impaired coordination, sleep deprivation, and medication-induced sedation. A fall should prompt an assessment of the circumstances and the possibility of underlying injury, particularly when head trauma, anticoagulant use, or impaired consciousness is present. Recurrent falls may indicate that the medication regimen requires review or that additional environmental and functional interventions are necessary. Pharmacovigilance records should capture clinically significant falls even when the relationship to a particular medicine is uncertain, because these events may reveal preventable combinations of risk factors.

Sleep disturbance also warrants a differentiated approach. Insomnia may precede treatment, emerge during withdrawal, persist as part of a psychiatric disorder, or occur as an adverse effect of medication. Daytime sleepiness may indicate excessive sedation, disrupted sleep architecture, concurrent substance exposure, or an underlying sleep disorder. Treating every sleep complaint with another sedating medicine can create prescribing cascades in which the adverse effects of one agent generate the indication for another. Before adding treatment, clinicians should examine the timing of symptoms, current medication exposure, substance use patterns, sleep habits, and relevant medical conditions. Where medication is necessary, its expected benefit and risk should be reassessed after initiation.

A prescribing cascade can develop when an adverse effect is misinterpreted as a new disease and treated with an additional medicine rather than addressing the original cause. In addiction pharmacotherapy, dizziness may lead to unnecessary treatment for vertigo, constipation may prompt repeated additions to an increasingly complex regimen, and medication-related insomnia may result in the introduction of another psychoactive agent. Such cascades increase treatment burden and can obscure the original adverse reaction. A medication review should therefore ask whether a new symptom began after a treatment change, whether the proposed additional medicine addresses the underlying cause, and whether dose adjustment or discontinuation would

be more appropriate. This approach supports rational prescribing and reduces avoidable polypharmacy.

The concept of deprescribing is relevant when the risks of continued medication exposure outweigh its expected benefits, particularly when a medicine no longer has a valid indication or when several agents produce overlapping adverse effects. Deprescribing should not be equated with indiscriminate medication reduction. Some medications used in addiction treatment are protective and should be maintained when clinically indicated, even when other medicines require review. The process should involve an individualized assessment of benefit, harm, withdrawal risk, recurrence of the underlying disorder, and patient preferences. Where gradual reduction is necessary, a clear plan and follow-up schedule should be established, with monitoring for symptom recurrence or withdrawal-related complications.

Patient participation is essential to the success of medication review. Individuals may value symptom relief, functional improvement, avoidance of sedation, preservation of employment, or the ability to participate in family responsibilities differently. A regimen that is pharmacologically acceptable may nevertheless be difficult to sustain if its adverse effects interfere with daily life. Shared decision-making allows clinicians to understand which outcomes matter most to the patient and to compare the likely benefits and risks of available alternatives. This process should communicate uncertainty honestly and avoid presenting a treatment choice as risk-free. Informed participation can improve adherence, treatment satisfaction, and the early recognition of adverse reactions.

Health literacy influences whether patients can recognize medication-related warning signs and respond appropriately. Complex terminology, lengthy instructions, and inconsistent advice may prevent people from understanding how to administer medicines or when to seek help. Communication should be adapted to the patient's language, literacy, cognitive capacity, and circumstances. Teach-back methods can help establish whether key information has been understood: the patient is invited to explain the medication plan in their own words, allowing misunderstandings to be corrected without blame. Written instructions should complement rather than replace discussion and should identify the most important actions in a clear, accessible format.

The risk of stigma remains a significant barrier to effective pharmacovigilance. Patients may avoid reporting substance use, medication sharing, missed doses, or adverse effects if they expect punishment, dismissal, or loss of access to care. Stigmatizing language can also influence the interpretation of symptoms, leading clinicians to attribute physical complaints to substance use without adequate investigation. A nonjudgmental clinical environment supports more accurate disclosure and improves the quality of the information used for safety assessment. This does not require ignoring hazardous behavior or minimizing clinical risk; it requires addressing risk through evidence-based assessment, clear communication, and proportionate intervention.

Confidentiality is especially important when pharmacovigilance information concerns substance use, psychiatric symptoms, overdose, or potentially stigmatized health conditions. Patients should understand how their clinical information is documented, who may access it, and the circumstances under which information may be shared according to applicable law and professional obligations. Data collection should be limited to what is clinically or scientifically justified, and safety systems should use appropriate safeguards against unauthorized disclosure. Where information is used for research or quality improvement, governance arrangements should protect privacy and maintain public confidence. Poorly managed confidentiality can reduce participation and compromise the reliability of safety reporting.

Pharmacists can make a substantial contribution to the prevention, detection, and management of medication-related harm. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics,

formulation, interactions, dosing, and medication-use processes can complement the diagnostic and treatment responsibilities of other clinicians. Community pharmacists may identify repeated early refills, duplicate prescriptions, contraindicated combinations, or discrepancies between prescribed and reported medication use. Hospital pharmacists can contribute to medication reconciliation, dose optimization, discharge planning, and the evaluation of suspected adverse drug reactions. The value of these interventions depends on clear communication pathways and access to sufficient clinical information to support meaningful recommendations.

Pharmacist-led medication review should prioritize clinically important problems rather than the mere number of recommendations generated. A useful review identifies the therapeutic purpose of each medicine, evaluates its effectiveness and tolerability, examines interactions and contraindications, and considers whether monitoring is appropriate. Recommendations should distinguish between urgent safety concerns and opportunities for longer-term optimization. When a potential problem is identified, the pharmacist should communicate its clinical significance, the supporting evidence, and the proposed action to the responsible prescriber. Follow-up is necessary to determine whether the recommendation was accepted, implemented, and associated with an improved outcome.

Interprofessional collaboration is particularly valuable when a patient receives treatment for several coexisting conditions. Addiction specialists, psychiatrists, general practitioners, nurses, pharmacists, laboratory professionals, and social care providers may each possess information relevant to medication safety. However, multidisciplinary involvement does not automatically ensure coordinated care. Roles should be clearly defined, important clinical changes should be communicated promptly, and responsibility for reviewing results should be explicit. Unassigned responsibility can result in abnormal findings being overlooked, suspected adverse reactions remaining undocumented, or medication changes being implemented without appropriate follow-up.

The integration of clinical decision support into electronic prescribing systems may reduce some medication errors by identifying contraindications, duplicate therapy, high-risk combinations, and dosing problems. Nevertheless, automated alerts are only useful when they are clinically relevant, sufficiently specific, and integrated into the workflow. Excessive low-value warnings can produce alert fatigue, causing clinicians to override even important alerts without adequate consideration. Decision support should prioritize risks according to severity, probability, and the availability of effective mitigation. Systems should also permit justified clinical exceptions and document the rationale for decisions when an alert is overridden.

Clinical decision-support algorithms must account for the limitations of the data available to them. An electronic record may contain outdated diagnoses, incomplete medication histories, inaccurate allergy entries, or information imported from another institution without confirmation. An alert generated from such information may be irrelevant or misleading. Conversely, an algorithm may fail to identify a dangerous combination when an unrecorded substance or nonprescription medicine is involved. Automated systems should therefore support, rather than replace, clinical judgment and patient communication. Their performance should be evaluated using clinically meaningful outcomes, including reductions in preventable harm, rather than the number of alerts displayed or recommendations generated.

The development of predictive models for medication-related harm offers opportunities to identify patients who may benefit from intensified monitoring. Models may incorporate age, comorbidities, renal and hepatic function, medication burden, prior adverse events, recent hospitalization, and patterns of treatment interruption. However, prediction is only useful when the resulting risk estimate leads to an appropriate intervention. A high-risk classification should prompt a review of modifiable factors, not automatically justify restricting access to effective

treatment. Predictive tools should be externally validated, recalibrated when populations or clinical practices change, and evaluated for unequal performance across demographic and socioeconomic groups.

The use of artificial intelligence in pharmacovigilance also raises questions about transparency, reproducibility, and accountability. Machine-learning systems may identify patterns in large datasets that are difficult to detect through conventional analysis, but their outputs can be affected by incomplete reporting, biased training data, changes in prescribing practice, and differences in healthcare access. A model trained primarily on data from one population may perform poorly when applied to another population with different clinical characteristics or reporting behavior. Validation should therefore examine both discrimination and calibration, and the system should be assessed under the conditions in which it will actually be used. Human oversight remains necessary when algorithmic recommendations have important clinical consequences.

Natural language processing may help identify suspected adverse drug reactions in clinical notes, discharge summaries, and other unstructured records. Such methods can potentially increase detection by extracting information that would otherwise remain outside formal reporting systems. However, clinical documentation contains negation, uncertainty, historical information, and competing explanations that may be difficult to interpret automatically. A statement that a medication-related reaction was excluded should not be treated as evidence that the reaction occurred, and a symptom documented in a historical context should not automatically be attributed to current exposure. Algorithms must therefore be evaluated against carefully reviewed reference data and should preserve uncertainty rather than converting ambiguous text into definitive causal conclusions.

Signal detection in pharmacovigilance involves identifying patterns that may indicate a previously unrecognized or insufficiently characterized safety concern. Disproportionality analyses and other statistical methods can help prioritize potential signals in spontaneous-reporting databases, but they cannot establish causality on their own. A signal may reflect increased awareness, stimulated reporting, publicity, changes in prescribing volume, or confounding by the underlying disease. Conversely, a genuine safety concern may remain undetected when reporting is sparse or the outcome is difficult to distinguish from background morbidity. Signal evaluation should integrate statistical findings with biological plausibility, clinical case review, exposure information, and evidence from other data sources.

The interpretation of spontaneous reports is further complicated by missing denominators. An increase in the number of reports associated with a medication does not necessarily mean that the incidence of adverse reactions has increased, because the number of exposed patients may also have changed. Comparisons between medicines are especially difficult when their indications, treatment duration, patient populations, and reporting intensity differ. Where feasible, investigators should supplement spontaneous reports with information on utilization and exposure, while recognizing the limitations of each source. The objective is to identify and investigate credible safety concerns rather than infer precise risk estimates from data that cannot support them.

Active surveillance can complement spontaneous reporting by systematically evaluating outcomes among defined populations of exposed patients. Electronic health records, claims databases, registries, and linked datasets may support the examination of uncommon outcomes, treatment patterns, and long-term safety questions. However, observational data are susceptible to confounding by indication, incomplete measurement of substance use, inaccurate exposure classification, and differential follow-up. Patients prescribed a particular medication may differ systematically from those receiving an alternative treatment, and these differences can influence outcomes independently of the medication itself. Robust study design, careful covariate

assessment, sensitivity analyses, and transparent reporting are essential to reduce misleading conclusions.

Comparative safety research should also recognize that treatment assignment in routine practice is influenced by clinical judgment, patient preference, service availability, and local prescribing policies. These factors can create substantial differences between treatment groups before exposure begins. Statistical adjustment may reduce measured confounding but cannot guarantee that all relevant differences have been addressed. Researchers should clearly distinguish associations from causal effects and avoid presenting adjusted estimates as definitive proof of comparative safety. Triangulation across study designs, populations, and data sources can increase confidence when findings are consistent and the limitations of individual approaches are understood.

The evaluation of rare but serious adverse reactions presents particular methodological challenges. Randomized trials may be insufficiently large or short to detect events that occur infrequently or after prolonged exposure. Post-marketing surveillance can expand the evidence base, but sparse data may make it difficult to distinguish a true signal from chance or confounding. Case reports and case series can provide important early warnings, particularly when the clinical pattern is unusual, but they should be interpreted in conjunction with other evidence. When a potential serious risk is identified, the appropriate response may include targeted investigation, enhanced monitoring, updated product information, or other proportionate measures while uncertainty is being resolved.

The safety assessment of medicines should include clinically relevant outcomes beyond traditional laboratory abnormalities and hospital admissions. Cognitive functioning, ability to work, sleep quality, physical mobility, social participation, and treatment satisfaction can reveal adverse effects that materially influence the patient's life. These outcomes may not be captured by routine safety databases, particularly when they develop gradually or are not associated with an acute medical encounter. Incorporating patient-reported outcomes can therefore provide a more complete assessment of tolerability. Validated instruments and consistent measurement schedules can improve comparability while reducing the risk that minor, transient symptoms are interpreted as equivalent to severe or persistent impairment.

Patient-reported adverse effects are especially important when they influence treatment continuation. A medicine may demonstrate favorable efficacy in a controlled trial but prove difficult to sustain in routine practice because of symptoms that interfere with daily activities. Such symptoms should not be dismissed simply because they are not classified as medically serious. At the same time, their clinical significance should be evaluated in relation to duration, severity, functional impact, and the patient's treatment goals. A structured assessment can help determine whether reassurance, symptomatic management, dose adjustment, or a different therapeutic strategy is appropriate.

Treatment burden is a further dimension of medication safety. Multiple daily doses, frequent clinic visits, laboratory appointments, complex administration instructions, and restrictive monitoring arrangements may create practical difficulties that affect adherence and continuity. These demands can be particularly challenging for individuals facing unstable housing, irregular employment, caregiving responsibilities, transportation barriers, or limited financial resources. A treatment plan that is theoretically optimal but practically inaccessible may produce poorer outcomes than a feasible alternative. Pharmacotherapeutic optimization should therefore consider not only pharmacological suitability but also the patient's ability to obtain, understand, and sustain the prescribed regimen.

Access-related interruptions should be distinguished from voluntary treatment discontinuation. A patient may miss medication because a prescription cannot be renewed promptly, a pharmacy

lacks stock, insurance or reimbursement arrangements change, transportation is unavailable, or clinic appointments are difficult to obtain. Such interruptions can create risks of withdrawal, recurrence of substance use, or loss of tolerance. Safety surveillance should document the circumstances of interruption and examine whether the event reflects a preventable system failure. Addressing access barriers may be as important as changing the medication itself.

Medication shortages can also influence treatment safety by requiring substitutions, changes in formulation, or altered dispensing arrangements. Substitution may be clinically appropriate, but differences in dose equivalence, administration instructions, or pharmacokinetic properties can create confusion if not clearly communicated. Healthcare organizations should maintain procedures for managing shortages, including assessment of therapeutic alternatives, communication with patients, and documentation of the rationale for changes. Where substitution involves a medicine with a different safety profile, additional monitoring may be necessary. A shortage should not lead to an unplanned interruption of essential treatment when a clinically appropriate alternative can be arranged.

The affordability of treatment is closely connected to medication continuity and safety. Patients who cannot afford prescribed medicines may ration doses, delay refills, or substitute nonprescribed products. These behaviors can produce unpredictable exposure and complicate the interpretation of treatment failure or adverse reactions. Clinicians should ask about financial barriers in a routine and nonjudgmental manner and consider lower-cost alternatives or available support mechanisms when appropriate. Health systems should evaluate whether reimbursement policies and dispensing arrangements unintentionally encourage unsafe treatment patterns. Financial accessibility is not separate from pharmacovigilance when it directly influences how medicines are used.

The quality of pharmaceutical supply chains also has implications for safety. Medicines obtained from unregulated or uncertain sources may have inaccurate labeling, variable potency, contamination, or unexpected ingredients. These problems can be particularly consequential when the medicine has a narrow margin between therapeutic and toxic exposure or when the patient assumes that a product contains a known substance. Healthcare professionals should provide practical guidance on obtaining medicines through reliable channels and should respond to suspected product-quality problems through appropriate reporting mechanisms. Investigation should distinguish product defects from prescribing errors, administration errors, and pharmacological adverse reactions because the preventive actions may differ.

Medication errors involving dispensing, preparation, administration, or storage should be incorporated into safety surveillance even when no injury occurs. Near misses can reveal weaknesses in prescribing software, labeling, workflow design, staffing, or communication. A dispensing error intercepted before the medicine reaches the patient may provide valuable information about a hazardous process that could produce harm in another circumstance. Reporting systems should therefore encourage the documentation of near misses and support analysis of underlying causes. A learning-oriented approach is more likely to identify recurring system vulnerabilities than one focused exclusively on individual blame.

Root-cause analysis can be useful after a serious medication-related incident, provided that it examines the broader circumstances in which the event occurred. Relevant factors may include workload, interruptions, unclear responsibilities, inadequate training, poor information transfer, inaccessible guidance, and limitations of the electronic record. The investigation should also examine whether the medication regimen itself was unnecessarily complex or whether a preventable interaction was overlooked. Recommendations should target modifiable system weaknesses and specify who is responsible for implementing changes. A review that identifies causes but does not produce measurable corrective actions is unlikely to improve safety reliably.

Safety culture is therefore a central component of effective pharmacovigilance. Staff must be able to raise concerns, report errors, and question potentially hazardous prescribing without fear of disproportionate punishment. This does not eliminate professional accountability; rather, it distinguishes human error, system-induced error, risky workarounds, and deliberate disregard of established safeguards. Different circumstances require different responses. Organizations should support open communication, timely feedback, and learning from incidents, while maintaining clear standards for safe practice. The effectiveness of a safety culture can be assessed through reporting quality, staff engagement, implementation of corrective actions, and evidence of reduced recurrence.

The evaluation of pharmacovigilance programs should focus on whether they improve patient outcomes and clinical processes. The number of adverse-event reports submitted is a useful operational measure but is not sufficient to demonstrate effectiveness. Increased reporting may reflect improved awareness, while a decrease may indicate either fewer events or deteriorating reporting practices. More informative indicators include the proportion of serious events investigated, time to recognition of emerging risks, completion of medication reviews, implementation of risk-reduction recommendations, and recurrence of preventable incidents. Outcome measures should be interpreted in relation to exposure, case mix, treatment intensity, and changes in reporting practices.

Quality-improvement initiatives should use baseline measurements and repeated evaluation to determine whether an intervention produces sustained benefit. For example, introducing a standardized medication reconciliation process may initially increase the detection of discrepancies because staff identify problems that were previously undocumented. This increase should not automatically be interpreted as deterioration in care. Investigators should distinguish between improved detection and a genuine increase in medication-related harm. Subsequent evaluation can examine whether discrepancies are resolved, preventable adverse events decline, and treatment continuity improves. The interpretation of performance indicators must account for the expected effects of improved surveillance.

The implementation of clinical guidelines requires similar attention to context. Guidelines provide a structured evidence base but cannot anticipate every combination of comorbidities, preferences, resource constraints, and treatment history. Excessive rigidity may produce inappropriate care when a patient's circumstances differ from those assumed by the guideline. Conversely, undocumented deviation may expose patients to avoidable risk. Clinicians should use guidelines as a foundation for individualized decisions, document clinically meaningful reasons for exceptions, and reassess those decisions when new information emerges. Guideline adherence should therefore be evaluated alongside clinical appropriateness and patient outcomes rather than treated as an end in itself.

Regulatory pharmacovigilance and clinical pharmacovigilance serve complementary purposes. Regulatory systems assess evidence across populations, identify emerging safety signals, and determine whether product information or risk-management measures require modification. Clinical pharmacovigilance applies safety knowledge to individual patients through prescribing decisions, monitoring, counseling, and treatment modification. Information must flow between these levels. Clinical observations may reveal signals requiring broader investigation, while regulatory communications may prompt changes in local practice. Effective systems should ensure that safety information reaches the professionals and patients who need it in a form that supports timely action.

Risk-management plans should be proportionate to the seriousness and probability of identified harms and should specify how the effectiveness of mitigation measures will be assessed. Educational materials, prescribing restrictions, laboratory monitoring, and follow-up

arrangements may be appropriate in selected circumstances, but additional requirements can also create burdens that discourage access to beneficial treatment. The design of a risk-management intervention should therefore consider both its intended protective effect and its possible unintended consequences. A measure that reduces one type of risk while substantially increasing treatment interruption or delaying access requires careful evaluation.

Communication of emerging safety concerns should be precise, transparent, and clinically actionable. Overly reassuring messages may delay recognition of important harms, while exaggerated warnings may lead to unnecessary discontinuation or avoidance of effective treatment. Safety communications should explain the nature of the concern, the strength and limitations of the evidence, the populations most likely to be affected, and the recommended clinical response. Where uncertainty remains, it should be acknowledged explicitly. Updating clinical guidance as evidence evolves is an essential part of responsible pharmacovigilance, particularly when new information changes the balance between therapeutic benefit and risk.

The role of patients in reporting adverse drug reactions should be strengthened through accessible reporting mechanisms and clear explanations of their purpose. Patients may identify symptoms that are not communicated during routine consultations or that occur between scheduled appointments. Direct reporting can complement reports from clinicians and other healthcare professionals, particularly when patients have difficulty obtaining timely follow-up. However, reporting systems should not create the impression that submission of a report guarantees a specific clinical response or establishes causality. Patients should be encouraged to seek urgent medical attention for serious symptoms rather than relying on an administrative reporting process.

The ethical dimensions of pharmacovigilance include respect for autonomy, equitable access to treatment, protection of confidentiality, and the obligation to reduce preventable harm. Individuals receiving addiction treatment should have access to accurate information about relevant risks and alternatives, including the consequences of untreated substance use disorder. Decisions should not be based on stigma or generalized assumptions about adherence, motivation, or credibility. Where capacity to make a particular decision is impaired by an acute clinical condition, appropriate safeguards should be applied while preserving the person's dignity and involving them in decisions as far as possible. Ethical pharmacovigilance requires balancing safety with the avoidance of unnecessary restrictions and discrimination.

Equity in medication safety deserves explicit investigation because adverse outcomes may be distributed unevenly across populations. Differences in healthcare access, language, income, housing stability, geographic location, disability, and exposure to stigma can influence whether patients receive monitoring, report symptoms, or obtain timely treatment. These factors may also affect the completeness of the data used to evaluate medication safety. A population with limited access to healthcare may appear to have fewer documented adverse reactions even when its true burden of harm is substantial. Surveillance systems should therefore consider the possibility of underascertainment and evaluate whether monitoring and treatment resources are reaching groups with greater unmet need.

The assessment of sex-related and gender-related differences in medication safety requires careful definition of the variables under investigation. Biological factors may influence pharmacokinetics, pharmacodynamics, hormonal regulation, or the prevalence of particular adverse reactions, while gender-related social factors may influence prescribing, healthcare access, disclosure, and treatment continuation. These influences should not be conflated. Research should collect and analyze relevant variables transparently and avoid attributing observed differences to biological mechanisms without sufficient evidence. Where sample sizes

permit, analyses should examine whether treatment effects and adverse outcomes vary across clinically meaningful subgroups.

Age-related differences also require attention, particularly in adolescents, young adults, and older people. Developmental physiology, patterns of substance exposure, psychiatric comorbidity, and social circumstances may differ substantially across age groups. Evidence derived from adults cannot automatically be extrapolated to younger populations, and age-related changes in organ function and medication burden may alter the safety profile in older adults. Research and clinical guidance should identify the populations to which the evidence applies and acknowledge important gaps. Monitoring plans should be adjusted to the relevant developmental and physiological characteristics rather than relying exclusively on chronological age.

Pregnancy and the postpartum period introduce additional considerations because medication decisions must account for maternal health, fetal or neonatal exposure where relevant, and the risks associated with untreated substance use disorder. Fear of adverse effects or stigma may lead some patients to delay care or avoid disclosing substance use. Clinical discussions should present the available evidence accurately and compare the potential risks of medication exposure with the risks of withdrawal, relapse, overdose, and untreated illness. Decisions should be individualized and supported by clinicians with appropriate expertise. Pharmacovigilance should also consider changes in medication handling during pregnancy and after delivery when these changes are clinically relevant.

The postpartum period may be associated with changes in physiological status, sleep, stress, medication requirements, and access to routine care. These changes can complicate the interpretation of adverse symptoms and increase the importance of coordinated follow-up. Where medication exposure may affect an infant, counseling should be based on the specific medicine, dose, route, clinical circumstances, and current evidence rather than generalized assumptions. Healthcare professionals should support informed decisions and ensure that safety concerns are addressed without unnecessarily disrupting effective treatment. Continuity between obstetric, addiction, psychiatric, primary care, and pediatric services may be important when several teams are involved.

The pharmacovigilance needs of people with infectious diseases, including human immunodeficiency virus and viral hepatitis, further demonstrate the importance of interaction assessment. Antiretroviral agents, antiviral medicines, antibiotics, and medications used in addiction treatment may share metabolic pathways or have overlapping effects on organ function. Complex treatment regimens can increase the risk of interactions, but appropriate coordination can often preserve access to effective therapies. Medication reviews should consider the full regimen, including changes initiated by different specialists, and should evaluate the clinical consequences of modifying any individual component. Decisions should be coordinated to avoid solving one interaction problem by creating another.

The management of tuberculosis and other infections requiring prolonged antimicrobial treatment may be especially challenging when rifamycin-containing regimens or other enzyme-inducing agents affect the exposure of concomitant medicines. Reduced concentrations of a maintenance medication may contribute to withdrawal symptoms or destabilization, while stopping the interacting antimicrobial may compromise treatment of the infection. The response should be coordinated across the relevant specialties, with consideration of alternative regimens where clinically appropriate and monitoring for changes in treatment response. When dose adjustment is required, the plan should also address what happens when the interacting medicine is discontinued, because metabolic effects may change again and the previously adjusted dose may no longer be appropriate.

The safety implications of smoking and changes in tobacco consumption should also be considered in selected medication regimens. Constituents of tobacco smoke can influence the activity of certain metabolic enzymes, meaning that changes in smoking behavior may alter the exposure of susceptible medicines even when the prescribed dose remains unchanged. The effect is medication-specific and should not be generalized to every drug used in addiction treatment. When a patient stops smoking, reduces consumption, or resumes smoking after a period of abstinence, clinicians should consider whether any concurrently prescribed medicine requires reassessment. This illustrates a broader principle: changes in environmental and behavioral exposures can modify pharmacological response and should be included in medication review when clinically relevant.

Cannabis exposure may complicate safety assessment through its potential effects on cognition, coordination, anxiety, and cardiovascular function, as well as through possible interactions with selected medicines. The clinical significance depends on the product, route of administration, frequency of use, co-exposures, and the patient's medical history. Because the composition and potency of products may vary, exposure estimates can be uncertain. Clinicians should ask about use in a neutral manner and evaluate whether it may contribute to the observed clinical presentation. Claims about specific interactions should be proportionate to the strength of the available evidence, particularly when data are derived from limited studies or mechanistic hypotheses rather than established clinical outcomes.

The use of complementary medicines, herbal products, and dietary supplements presents another source of uncertainty. Patients may not consider these products to be medicines and may therefore omit them from medication histories. Some products can affect metabolic enzymes, platelet function, blood pressure, or other physiological processes, while their composition and quality may vary. A safety review should establish the product name, ingredients when known, dose, frequency, and reason for use. Where evidence about an interaction is limited, clinicians should communicate the uncertainty and assess whether continued use is justified. Documentation is important because the omission of complementary products can make otherwise unexplained adverse events difficult to interpret.

The evaluation of medication safety should also consider administration errors associated with formulation and route. Confusion between immediate-release and modified-release products, incorrect measurement of liquid formulations, inappropriate tablet manipulation, and misunderstandings about injectable administration can alter exposure or treatment effectiveness. These risks may be increased when products are changed because of availability or when instructions are communicated across several care settings. Prescribers and pharmacists should verify that the selected formulation is appropriate and that the patient understands the administration method. Where a formulation change is necessary, the expected differences and relevant precautions should be explained explicitly.

Storage and disposal practices are additional elements of medication safety. Medicines stored under unsuitable conditions may lose stability, while unsecured storage can increase the risk of accidental ingestion, diversion, or access by other household members. Disposal of unused medicines should follow applicable local guidance and should avoid practices that create unnecessary exposure or environmental contamination. These issues are particularly relevant when treatment changes leave patients with unused supplies or when medicines are administered in shared living environments. Counseling should be practical and tailored to the actual product and the patient's circumstances.

Environmental pharmaceutical contamination is relevant to the broader stewardship of medicines, although it should be distinguished from direct clinical pharmacovigilance. Improper disposal and the release of pharmaceutical residues can contribute to environmental exposure,

while antimicrobial residues may be relevant to the wider problem of antimicrobial resistance. These concerns do not imply that appropriately prescribed addiction medications should be withheld. Instead, they support responsible manufacturing, disposal, wastewater management, and pharmaceutical governance. An integrated medication-safety framework can recognize environmental responsibilities while maintaining the primary clinical obligation to provide effective and safe treatment to individual patients.

The quality of clinical research on addiction pharmacotherapy can be improved by standardizing adverse-event definitions, severity classifications, follow-up intervals, and methods of causal assessment. Inconsistent terminology makes it difficult to compare findings across trials, registries, and observational studies. One investigation may classify a symptom as a treatment-emergent event, while another may record it only when a causal relationship is suspected. Such differences can create apparent variation in safety outcomes that reflects methodology rather than true clinical differences. Clear definitions and transparent reporting are therefore necessary for reliable synthesis.

Clinical trials should report both absolute and relative measures of adverse-event frequency whenever the data permit. Relative comparisons may make differences appear substantial even when the absolute change in risk is small, while absolute frequencies alone may obscure important relative increases. Reporting should also identify the duration of exposure, the number of participants evaluated for each outcome, the handling of missing data, and the criteria used to define serious events. Where possible, the timing and persistence of adverse reactions should be described because a transient symptom and a persistent event may have different clinical implications. These details support more informed decisions by clinicians, patients, and policymakers.

Long-term follow-up is especially important when treatment is intended to continue for months or years. Short-term studies may characterize early tolerability but cannot fully establish the safety of prolonged exposure, the cumulative burden of adverse effects, or the consequences of repeated treatment interruptions. Longitudinal research should examine changes in organ function, comorbidities, concurrent medication use, treatment response, and patient-reported outcomes over time. It should also consider the influence of attrition, because participants who discontinue treatment may differ systematically from those who remain under observation. Loss to follow-up should not be assumed to indicate either safety or treatment failure without additional evidence.

The generalizability of research findings requires careful appraisal. Participants in clinical trials may differ from patients encountered in routine practice because of exclusion criteria, intensive follow-up, stable housing, lower comorbidity burden, or reduced prevalence of complex substance use patterns. The safety profile observed in a controlled trial may therefore not fully reflect the experience of people receiving care in under-resourced settings. Pragmatic trials, prospective cohorts, registries, and well-designed observational studies can help extend the evidence base to more diverse populations. Their findings should be interpreted with appropriate attention to confounding and differences in data quality.

Research on treatment retention should be integrated with adverse-event evaluation because safety and continuity are interdependent. A medicine that produces substantial therapeutic benefit but is frequently discontinued because of intolerable adverse effects may require a different implementation strategy or a more individualized approach. Conversely, a treatment associated with manageable adverse effects may provide substantial net benefit when it reduces withdrawal, craving, overdose risk, or other clinically significant outcomes. Investigators should distinguish discontinuation caused by adverse effects from discontinuation due to lack of efficacy, access

barriers, personal preference, or unrelated circumstances. This distinction can identify opportunities for more effective counseling and safer treatment delivery.

Economic evaluation can help determine whether investment in pharmacovigilance interventions produces meaningful health-system benefits. Preventing serious adverse reactions may reduce emergency visits, hospital admissions, additional diagnostic procedures, and treatment interruption. However, the costs of monitoring, staff training, electronic systems, and patient support should also be considered. Economic analyses should evaluate the full pathway of care and avoid assuming that a lower-cost medicine is necessarily more cost-effective if it leads to poorer treatment continuity or greater downstream morbidity. The most informative evaluations connect resource use to clinically relevant outcomes and patient-centered benefits.

Implementation research is necessary to determine how evidence-based pharmacovigilance practices can be adopted and sustained in different healthcare environments. An intervention that succeeds in a specialist center with extensive staffing may be difficult to reproduce in a community service with limited resources. Implementation studies should examine workflow compatibility, training needs, organizational support, patient acceptability, and the resources required for continued operation. Adaptation may be necessary, but core safety functions should be preserved. Documenting which components are essential and which can be modified can help translate successful interventions into routine practice.

The development of standardized educational programs for healthcare professionals can improve the recognition and management of adverse drug reactions. Training should cover medication reconciliation, interaction assessment, causality evaluation, serious-event recognition, reporting procedures, communication with patients, and the interpretation of uncertainty. It should also address the clinical characteristics of addiction treatment, including changes in tolerance, overdose prevention, withdrawal-related complications, and the consequences of treatment interruption. Case-based learning can help professionals integrate these concepts into realistic clinical decisions. Competency should be assessed through practical application rather than attendance alone.

Continuing professional development should reflect changes in pharmacological evidence, regulatory guidance, and patterns of substance exposure. Emerging synthetic substances, changes in the illicit drug supply, new formulations, and evolving treatment practices may alter the risks encountered in clinical care. Educational materials should therefore be reviewed periodically and should distinguish established evidence from preliminary findings. Clinicians need reliable access to current drug information and clear pathways for consultation when an unfamiliar interaction or suspected adverse reaction arises. Maintaining competence is an ongoing requirement because the clinical environment and the evidence base continue to change.

The effectiveness of pharmacovigilance in addiction treatment depends on the integration of scientific evidence, clinical judgment, patient participation, and health-system accountability. No single reporting database, laboratory test, predictive algorithm, or prescribing guideline can fully characterize medication safety across all clinical contexts. Reliable assessment requires multiple sources of information, transparent evaluation of uncertainty, and an explicit connection between safety findings and clinical action. The objective is to identify preventable harm early, preserve access to effective treatment, improve the quality of prescribing and monitoring, and support recovery without unnecessary treatment disruption. By embedding these principles throughout medication selection, initiation, maintenance, modification, and discontinuation, healthcare systems can strengthen the safety and effectiveness of addiction pharmacotherapy while maintaining a balanced, evidence-based approach to individual patient care.

Current Landscape of Pharmacovigilance in Addiction Pharmacotherapy

The analysis of contemporary scientific evidence demonstrates that pharmacovigilance has become an indispensable component of modern addiction treatment, providing a structured framework for evaluating medication safety, identifying adverse drug reactions (ADRs), and optimizing therapeutic outcomes. The findings indicate that pharmacological management of substance use disorders has substantially improved patient survival, treatment retention, relapse prevention, and quality of life; however, continuous safety surveillance remains essential because addiction medications are frequently administered to individuals with complex clinical profiles, including psychiatric comorbidities, chronic medical conditions, and concurrent medication use. The results reveal that medications used in addiction treatment possess distinct safety characteristics requiring individualized monitoring approaches. Unlike many conventional therapeutic areas, addiction pharmacotherapy involves prolonged treatment periods, variable adherence patterns, potential misuse risks, and significant interactions between pharmacological effects and behavioral factors. Therefore, traditional safety assessment approaches based solely on controlled clinical trials are insufficient to fully characterize long-term medication-related risks. Integration of post-marketing surveillance, real-world evidence, and patient-centered monitoring systems is necessary to provide a complete understanding of medication safety.

Safety Assessment of Pharmacological Treatments for Opioid Use Disorder

The evaluation of opioid use disorder medications demonstrates that opioid agonist and antagonist therapies represent highly effective interventions but require comprehensive safety management. Maintenance therapies have significantly reduced illicit opioid consumption, overdose mortality, and infectious disease transmission while improving social functioning and treatment engagement. Nevertheless, pharmacovigilance data emphasize the importance of monitoring respiratory effects, cardiovascular complications, central nervous system interactions, withdrawal-related events, and risks associated with inappropriate dosing.

The findings indicate that safety outcomes are strongly influenced by patient-specific factors, including age, metabolic variability, hepatic function, psychiatric status, and concomitant use of sedative medications. Drug–drug interactions, particularly those involving central nervous system depressants, remain a major concern requiring active clinical monitoring. Appropriate dose titration, adherence assessment, patient education, and collaboration among healthcare professionals are essential strategies for reducing preventable medication-related harm.

The analysis further demonstrates that therapeutic monitoring programs improve the safety profile of opioid-related pharmacotherapy by facilitating early recognition of adverse reactions and supporting individualized treatment adjustments. The involvement of clinical pharmacists and addiction specialists contributes significantly to medication optimization through comprehensive medication reviews, interaction assessment, and patient counseling.

Pharmacovigilance Considerations in Alcohol Dependence Treatment

The results indicate that pharmacological treatment of alcohol dependence presents unique safety challenges due to frequent coexistence of liver disease, psychiatric disorders, nutritional deficiencies, and polypharmacy. Medications used for alcohol-related disorders require careful assessment of hepatic safety, neurological effects, psychological responses, and adherence patterns.

Evidence from clinical investigations suggests that effective pharmacovigilance approaches improve the identification of patients at increased risk of medication-related complications. Baseline clinical evaluation, laboratory monitoring, evaluation of comorbid conditions, and regular assessment of treatment response are essential elements of safe therapeutic management.

The findings emphasize that risk–benefit evaluation is particularly important in alcohol dependence treatment because untreated addiction itself represents a significant health risk. Therefore, pharmacovigilance should not only focus on identifying medication-associated risks but also consider the overall clinical benefits achieved through effective addiction control, reduction of harmful alcohol consumption, and prevention of associated diseases.

Medication Safety Monitoring in Nicotine Dependence Therapy

The assessment of nicotine dependence therapies demonstrates that pharmacological interventions, including nicotine replacement approaches and non-nicotine medications, have contributed substantially to smoking cessation outcomes. However, continuous safety evaluation remains important because treatment effectiveness and tolerability may vary among different patient populations.

The results indicate that cardiovascular status, psychiatric history, medication adherence, and behavioral factors influence treatment outcomes. Pharmacovigilance systems provide valuable information regarding rare adverse events, treatment discontinuation patterns, and patient-specific safety considerations. Integration of behavioral interventions with pharmacological monitoring improves overall therapeutic effectiveness and reduces treatment-related complications.

Role of Adverse Drug Reaction Detection and Reporting Systems

A major finding of this analysis is that underreporting of adverse drug reactions remains one of the most significant challenges in addiction pharmacotherapy surveillance. Several factors contribute to insufficient reporting, including stigma associated with substance use disorders, limited awareness among healthcare professionals, uncertainty regarding causal relationships, and inadequate integration of reporting systems into routine clinical practice.

Strengthening ADR reporting requires improved education of healthcare professionals, simplified reporting procedures, increased patient participation, and greater institutional support. Active pharmacovigilance systems that combine spontaneous reporting with electronic health records and automated safety surveillance provide greater sensitivity for detecting clinically important safety signals.

The results suggest that artificial intelligence-based signal detection represents a promising approach for improving pharmacovigilance efficiency. Machine learning algorithms can analyze large-scale healthcare datasets, identify unexpected medication-related patterns, and support early intervention strategies. However, technological approaches must be combined with expert clinical interpretation to ensure accurate assessment and appropriate decision-making.

Risk Management and Clinical Monitoring Strategies

The findings demonstrate that effective risk management is central to safe addiction pharmacotherapy. Risk minimization strategies include appropriate patient selection, individualized dosing, monitoring of therapeutic response, assessment of adverse effects, prevention of medication misuse, and continuous evaluation of treatment adherence.

Comprehensive therapeutic monitoring should incorporate clinical assessment, laboratory investigations when appropriate, evaluation of psychological status, and consideration of social determinants affecting treatment outcomes. Multidisciplinary care models provide the most effective framework for implementing these strategies because addiction involves biological, psychological, and social dimensions.

The analysis highlights the expanding contribution of pharmacists in addiction treatment. Clinical pharmacists support medication safety through medication reconciliation, identification

of potential interactions, adverse reaction monitoring, patient education, and promotion of evidence-based medication use. Their involvement strengthens pharmacovigilance systems and improves continuity of care.

Emerging Technologies and Future Directions in Medication Safety

The results indicate that technological innovation is transforming pharmacovigilance in addiction medicine. Artificial intelligence, digital health platforms, electronic monitoring systems, and pharmacogenomic approaches provide opportunities for earlier risk detection and personalized treatment optimization.

Precision pharmacotherapy represents an emerging direction in addiction treatment by integrating genetic information, clinical characteristics, environmental factors, and treatment response data. Such approaches may enable clinicians to predict medication effectiveness, identify individuals at increased risk of adverse reactions, and select safer therapeutic options.

Despite these advances, challenges remain regarding data privacy, ethical considerations, algorithm validation, healthcare accessibility, and integration of digital technologies into routine clinical practice. Future pharmacovigilance frameworks must balance technological innovation with clinical expertise and patient-centered principles.

Global Implications and Public Health Perspectives

The findings emphasize that medication safety in addiction treatment is not only a clinical issue but also a major public health priority. Effective pharmacovigilance systems contribute to reducing preventable harm, improving treatment confidence, strengthening healthcare quality, and supporting evidence-based policy development.

International collaboration among regulatory authorities, healthcare institutions, researchers, and professional organizations is necessary to establish harmonized safety monitoring standards. Global pharmacovigilance networks can facilitate rapid identification of emerging risks, improve access to safety information, and support safer implementation of addiction treatment strategies across diverse healthcare environments.

The study demonstrate that comprehensive pharmacovigilance and safety assessment are fundamental for achieving optimal outcomes in addiction pharmacotherapy. Continuous monitoring, interdisciplinary collaboration, advanced analytical methods, and personalized therapeutic approaches represent essential components of future addiction medicine. The integration of clinical pharmacology, evidence-based medicine, regulatory science, and innovative technologies will enhance the safety, effectiveness, and sustainability of pharmacological interventions for substance use disorders.

Integration of Real-World Evidence into Addiction Medication Safety Assessment

The evaluation of current pharmacovigilance practices demonstrates that real-world evidence (RWE) has become increasingly important for understanding the long-term safety and effectiveness of medications used in addiction treatment. Traditional randomized controlled trials remain the cornerstone for establishing efficacy and initial safety profiles; however, their controlled conditions may not fully reflect the complexity of real clinical environments. Patients receiving addiction pharmacotherapy frequently differ from trial populations because of multiple comorbidities, social vulnerabilities, variable adherence, concurrent substance use, and diverse healthcare access conditions.

The findings indicate that real-world data derived from electronic health records, insurance databases, clinical registries, patient-reported outcomes, and pharmacovigilance databases provide valuable information regarding medication performance after regulatory approval. These

data sources allow researchers and healthcare systems to identify rare adverse events, evaluate long-term treatment outcomes, and detect safety concerns that may not become evident during preauthorization studies.

The integration of real-world evidence into pharmacovigilance frameworks improves the understanding of benefit–risk relationships by considering both therapeutic advantages and potential harms within routine clinical practice. In addiction medicine, this approach is particularly relevant because treatment effectiveness depends not only on pharmacological activity but also on adherence, accessibility, psychosocial support, and continuity of care.

Pharmacovigilance Challenges Associated with Polypharmacy and Comorbid Conditions

A significant finding of this scientific analysis is the complexity of medication safety assessment in patients with addiction disorders who frequently experience multiple chronic diseases requiring additional pharmacological treatment. Common comorbidities include depression, anxiety disorders, cardiovascular diseases, infectious diseases, metabolic disorders, chronic pain conditions, and sleep disturbances. Consequently, polypharmacy represents a major factor influencing adverse drug reaction development and therapeutic complexity.

The results indicate that drug–drug interactions represent one of the most clinically relevant safety concerns in addiction pharmacotherapy. Interactions involving medications affecting the central nervous system may increase sedation, respiratory depression, cognitive impairment, or other serious complications. Additionally, metabolic interactions involving hepatic enzyme systems can alter medication concentrations and influence both therapeutic effectiveness and toxicity.

Comprehensive medication review and clinical decision support systems are therefore essential components of modern pharmacovigilance. Healthcare professionals should evaluate the complete medication profile of each patient, including prescribed medications, over-the-counter products, herbal supplements, and substances obtained outside formal healthcare systems. Such systematic assessment contributes to early identification of potential risks and supports safer therapeutic planning.

Importance of Patient-Centered Pharmacovigilance Approaches

The analysis highlights that effective pharmacovigilance requires active participation of patients receiving addiction treatment. Historically, medication safety systems have primarily relied on healthcare professional reporting; however, patient-generated safety information provides important insights into treatment experiences, tolerability, adherence barriers, and quality-of-life outcomes.

Patient-centered pharmacovigilance encourages individuals to report adverse effects, communicate treatment concerns, and participate in shared decision-making processes. This approach is particularly important in addiction medicine, where stigma, fear of judgment, and social barriers may prevent individuals from openly discussing medication-related problems.

The findings suggest that improving patient education regarding expected therapeutic effects, potential adverse reactions, and the importance of medication adherence can significantly enhance safety outcomes. Empowered patients are more likely to recognize clinically important symptoms, seek timely medical assistance, and actively contribute to safer treatment practices.

Regulatory Science and International Safety Frameworks

The results demonstrate that regulatory science plays a fundamental role in maintaining the safety and quality of addiction medications throughout their lifecycle. Regulatory agencies establish

standards for clinical evaluation, approval processes, adverse event reporting, post-marketing surveillance, and risk management planning.

Modern regulatory approaches increasingly emphasize proactive safety assessment rather than reactive responses to medication-related problems. Risk management plans, periodic safety update reports, signal evaluation procedures, and post-authorization safety studies provide structured mechanisms for continuous evaluation of pharmacological therapies.

The analysis indicates that international harmonization of pharmacovigilance practices remains a critical priority. Differences in healthcare infrastructure, reporting systems, regulatory requirements, and medication availability may influence the effectiveness of safety monitoring across countries. Strengthening global cooperation can improve data sharing, accelerate identification of emerging risks, and promote equitable access to safe addiction treatments.

Pharmacogenomics and Individualized Safety Prediction

The findings reveal that pharmacogenomic approaches represent an important emerging direction in improving medication safety assessment. Genetic variations affecting drug metabolism, receptor sensitivity, transporter activity, and pharmacodynamic response may contribute to differences in treatment effectiveness and adverse reaction susceptibility among individuals.

Integration of pharmacogenomic information into addiction pharmacotherapy may allow clinicians to predict which patients are more likely to respond favorably to specific medications and which individuals may experience increased risk of adverse outcomes. This individualized approach supports the transition from generalized prescribing models toward precision-based treatment strategies.

However, several limitations currently restrict widespread clinical implementation, including variability in genetic testing accessibility, interpretation challenges, cost considerations, and the need for additional clinical validation. Future research should focus on establishing clinically meaningful pharmacogenomic markers and integrating genetic information with broader clinical and environmental factors.

Artificial Intelligence and Digital Transformation of Pharmacovigilance

The analysis identifies artificial intelligence (AI) and digital technologies as transformative tools capable of significantly enhancing medication safety surveillance. AI-based systems can process large volumes of structured and unstructured healthcare data, including clinical notes, laboratory results, adverse event reports, and patient communications.

Machine learning approaches may improve early detection of safety signals by identifying complex associations between medications, patient characteristics, and adverse outcomes. Automated algorithms can support healthcare professionals by prioritizing potential safety concerns and reducing the workload associated with manual data analysis.

Digital health applications, including mobile monitoring platforms and electronic patient-reported outcome systems, provide additional opportunities for continuous observation of treatment safety. These technologies may be particularly valuable in addiction medicine, where long-term monitoring and early identification of relapse risk or medication complications are essential.

Nevertheless, responsible implementation of AI-driven pharmacovigilance requires careful consideration of data accuracy, algorithm transparency, cybersecurity, ethical standards, and clinical validation. Technology should complement, rather than replace, professional clinical judgment and patient-centered decision-making.

Pharmacovigilance and integrated pharmacological safety determination constitute essential components of evidence-based addiction treatment, particularly because medications used to

manage substance use disorders may produce clinically significant adverse drug reactions, pharmacokinetic interactions, pharmacodynamic complications, and treatment-related risks that require continuous evaluation. The safety of addiction pharmacotherapy cannot be adequately characterized through the identification of isolated adverse events alone. It requires an integrated examination of medication efficacy, dose-dependent toxicity, individual patient characteristics, concurrent substance exposure, comorbid disease, treatment adherence, physiological adaptation, and the clinical circumstances under which medicines are prescribed and administered. The findings discussed in this section synthesize established pharmacological principles, clinical treatment considerations, and pharmacovigilance approaches to examine the relationship between therapeutic benefit, medication-related harm, and patient-centered treatment outcomes. They should be interpreted as a structured narrative synthesis rather than as results from a newly conducted clinical trial or a quantitative systematic review.

A central finding is that medication safety in addiction treatment is a dynamic clinical process rather than a fixed property of a pharmaceutical product. A medication may demonstrate a favorable benefit–risk profile under appropriately selected and monitored conditions while presenting substantial risks when used at unsuitable doses, combined with interacting substances, administered without adequate clinical assessment, or continued despite emerging adverse effects. The same pharmacological intervention may produce different outcomes across patients because of variation in age, organ function, genetic characteristics, tolerance, previous exposure, concomitant medication use, nutritional status, and the severity of the underlying substance use disorder. Consequently, pharmacological safety assessment must incorporate both medicine-specific characteristics and patient-specific determinants.

The findings also indicate that effective pharmacovigilance in addiction treatment should integrate several complementary activities: identification and documentation of suspected adverse drug reactions, assessment of medication interactions, monitoring of clinically relevant physiological parameters, review of prescribing and dispensing practices, evaluation of adherence, communication of emerging risks, and implementation of corrective measures. These activities are most effective when embedded within routine clinical workflows and supported by clear professional responsibilities. Pharmacovigilance should not be regarded as an administrative task performed exclusively after an adverse event has occurred. Rather, it should function as a prospective and retrospective safety process capable of identifying preventable risks, recognizing unexpected clinical patterns, and improving the quality of pharmacotherapeutic decisions.

Medication-Specific Findings in Addiction Pharmacotherapy

Methadone: therapeutic effectiveness and cardiovascular safety

Methadone illustrates the importance of integrating therapeutic efficacy with structured pharmacological risk assessment. As a full opioid receptor agonist, it reduces opioid withdrawal symptoms and cravings and can support sustained treatment engagement. Its effectiveness must be evaluated alongside its pharmacokinetic characteristics, potential for drug interactions, respiratory depressant effects, and capacity to prolong cardiac repolarization. These characteristics make patient selection, dose adjustment, medication reconciliation, and ongoing clinical monitoring important components of safe treatment. Methadone should not be regarded as intrinsically unsafe because it possesses identifiable pharmacological risks; rather, the relevant question is whether its expected benefits outweigh those risks under an appropriately organized treatment plan. Evidence-based guidance recognizes methadone as an established medication for opioid use disorder and emphasizes its role within continuing clinical care.

One of the most clinically important safety considerations associated with methadone is QT-interval prolongation, which may increase the risk of torsades de pointes in susceptible patients. The magnitude of risk depends on multiple interacting factors, including individual cardiac susceptibility, electrolyte disturbances, concurrent medicines that prolong the QT interval, and conditions that affect methadone exposure. Hypokalemia and hypomagnesemia are particularly relevant because electrolyte abnormalities can increase vulnerability to arrhythmia. Additional caution may be warranted in patients with a history of syncope, known cardiac disease, previous ventricular arrhythmia, or concurrent treatment with several medicines that influence cardiac electrophysiology.

The findings support a risk-stratified approach to cardiac monitoring rather than an inflexible assumption that every patient requires an identical testing schedule. A clinical history, review of concomitant medication, and assessment of relevant risk factors can help determine whether an electrocardiogram and electrolyte measurements are indicated. Where clinically significant QT prolongation is identified, the response should involve individualized assessment of reversible factors, medication interactions, and available therapeutic alternatives. Abrupt or poorly coordinated changes to effective opioid agonist treatment may introduce other serious risks; therefore, cardiac safety decisions should consider the overall clinical circumstances and should be made by appropriately qualified clinicians.

Methadone-related respiratory depression constitutes another major safety concern, particularly during treatment initiation, dose escalation, re-initiation after interruption, or concurrent exposure to other central nervous system depressants. Alcohol, benzodiazepines, sedative-hypnotics, and other opioids may increase sedation and respiratory risk. The interaction is especially important when the combined effects of several substances cannot be accurately predicted from the prescribed dose of any single medicine. A patient's reported medication history may also be incomplete, making nonjudgmental questioning and appropriate clinical assessment important elements of pharmacovigilance.

The findings further indicate that methadone dosing must account for the relationship between tolerance, treatment continuity, and changing physiological status. Tolerance may diminish following a substantial interruption in opioid exposure. Resuming a previously tolerated dose without reassessment may therefore create avoidable danger. Conversely, inadequately managed withdrawal and cravings may undermine retention in treatment and increase the likelihood of returning to unregulated opioid use. Safe prescribing requires clinicians to balance the risks associated with excessive exposure against those associated with undertreatment, discontinuity, and inadequate access to care.

Buprenorphine: partial agonism and comparative safety

Buprenorphine, a partial agonist at the mu-opioid receptor, provides an alternative pharmacological approach to opioid use disorder. Its partial agonist properties are associated with a ceiling effect for certain opioid effects, including respiratory depression, although this does not eliminate the possibility of serious toxicity. Risk remains clinically important when buprenorphine is combined with sedatives, alcohol, or other central nervous system depressants, or when it is used in circumstances that increase vulnerability to respiratory compromise. The comparative safety of buprenorphine should therefore be interpreted in terms of its pharmacology and clinical context rather than as an absence of meaningful adverse effects. Clinical guidance identifies buprenorphine as an established treatment option and emphasizes access to appropriate medication-based care.

A specific concern during initiation is precipitated opioid withdrawal. Because buprenorphine binds strongly to opioid receptors while producing less intrinsic receptor activation than full

agonists, administering it before a suitable transition from other opioids may displace full agonists and precipitate withdrawal in a physically dependent patient. The probability and severity of this outcome depend on the substance involved, its duration of action, the timing of administration, the patient's clinical status, and the induction strategy. Pharmacovigilance in this setting requires careful assessment of recent opioid exposure, clear communication about initiation, monitoring of symptoms, and a documented response plan if withdrawal develops.

Precipitated withdrawal is clinically important not only because of its immediate physiological effects but also because it may affect confidence in treatment and subsequent engagement with services. Severe discomfort, anxiety, vomiting, agitation, and other withdrawal symptoms may lead some patients to discontinue treatment prematurely. Such outcomes should be documented and reviewed to determine whether they reflect a predictable pharmacological effect, an unsuitable initiation strategy, incomplete patient education, or an underlying clinical complication. The purpose of monitoring is to improve the safety and acceptability of treatment rather than to discourage the use of an effective medication.

Buprenorphine formulations also introduce distinct considerations for medication safety. Sublingual and buccal preparations require appropriate administration and patient understanding, whereas extended-release formulations involve additional considerations relating to injection-site reactions, administration procedures, and follow-up. Combination products containing buprenorphine and naloxone have specific pharmacological and administration characteristics that should be explained to patients. The safety review should identify the exact formulation, dose, route, frequency, and prescribing instructions because medication errors may occur when different products or administration methods are incorrectly treated as interchangeable.

The findings also support attention to hepatic function and clinically relevant drug interactions. Buprenorphine exposure may be influenced by medicines that affect metabolic pathways, and clinically significant hepatic impairment may alter the suitability or monitoring requirements of particular formulations. These considerations do not necessarily preclude treatment; instead, they inform individualized prescribing and follow-up. As with methadone, a structured assessment should consider both the medication's risks and the risks of leaving opioid use disorder inadequately treated.

Naltrexone: opioid antagonism and induction-related risks

Naltrexone differs mechanistically from methadone and buprenorphine because it acts as an opioid receptor antagonist rather than an opioid agonist. It can be used in selected patients with opioid use disorder, including in extended-release injectable formulations. Its principal initiation-related safety requirement is that patients must have discontinued opioids and completed an appropriate period of opioid withdrawal before treatment begins. If naltrexone is administered while clinically significant opioid dependence remains, it may precipitate an abrupt and potentially severe withdrawal syndrome. Appropriate evaluation of recent opioid exposure and readiness for induction is therefore central to safe prescribing.

A further consideration is the risk associated with reduced opioid tolerance after treatment discontinuation or interruption. Patients who return to opioid use after a period of antagonist treatment may be vulnerable to overdose, particularly if they attempt to use amounts previously tolerated. Patients should receive clear information about this risk, access to appropriate overdose prevention resources, and advice regarding timely engagement with treatment services if cravings or relapse occur. Pharmacovigilance should consequently extend beyond adverse effects during active medication exposure to include safety risks arising from treatment interruption and changes in substance-use patterns.

Naltrexone also requires consideration of hepatic status and the patient's overall medication profile. Clinical assessment should establish whether the medication is appropriate for the individual, whether relevant liver disease or symptoms require additional investigation, and whether other prescribed or nonprescribed medicines may affect treatment planning. For injectable formulations, administration-site reactions and other formulation-specific adverse effects should be documented and evaluated according to their severity and clinical course.

The selection between opioid agonist treatment and antagonist treatment should not be based on a simplistic ranking of medication safety. These approaches differ in mechanism, induction requirements, treatment acceptability, adherence demands, access, and the consequences of interrupted treatment. Shared decision-making should incorporate the patient's clinical circumstances, treatment preferences, previous experience, and ability to participate in the proposed care plan. An appropriate pharmacovigilance framework supports the safe use of the selected treatment while remaining responsive to changing needs.

Pharmacotherapy for alcohol use disorder

The pharmacological management of alcohol use disorder demonstrates why medication safety assessment must be adapted to the substance involved and the therapeutic objective. Unlike opioid use disorder, for which methadone, buprenorphine, and naltrexone are established medication options, alcohol use disorder involves a different combination of neurobiological mechanisms, withdrawal-related complications, and long-term treatment considerations. Pharmacological interventions may target craving, support abstinence, reduce heavy drinking, or manage acute withdrawal. These objectives are clinically distinct and should not be combined into a single, undifferentiated safety category.

Naltrexone and acamprosate are established pharmacological options for selected patients with alcohol use disorder. Naltrexone may reduce alcohol-related reward and heavy-drinking outcomes, whereas acamprosate is used primarily to support maintenance of abstinence. Their selection requires consideration of treatment goals, renal and hepatic function, concurrent medication, contraindications, and the patient's capacity to follow the prescribed regimen. Naltrexone requires particular attention to current opioid use because opioid receptor blockade can precipitate withdrawal in opioid-dependent individuals and interfere with opioid analgesia. Acamprosate requires consideration of renal function and dosing suitability. The choice between these medicines should therefore reflect individual clinical characteristics rather than assumptions that one medication is universally preferable.

Disulfiram represents another pharmacological approach, but its use requires careful consideration of adherence, contraindications, and the potentially serious consequences of alcohol exposure during treatment. The possibility of an alcohol–disulfiram reaction makes patient education and clear documentation particularly important. Clinicians should ensure that patients understand relevant sources of alcohol exposure, the consequences of consuming alcohol while taking the medication, and the need to seek medical assistance if severe symptoms develop. The medication's suitability should be evaluated against the patient's medical status, ability to adhere to treatment, and preferences.

Acute alcohol withdrawal presents a separate safety challenge. Benzodiazepines may be indicated to reduce withdrawal severity and prevent complications, including seizures and delirium. However, these medicines can cause sedation, impaired coordination, respiratory depression, and dependence, particularly when used inappropriately or combined with alcohol, opioids, or other sedatives. Monitoring should reflect withdrawal severity, the patient's medical history, coexisting conditions, and the setting in which treatment is delivered. Severe or complicated withdrawal may require supervised treatment and appropriate physiological

monitoring. Long-term alcohol use disorder management should also address nutritional deficiencies, relevant comorbidities, psychosocial support, and relapse prevention rather than relying exclusively on medication.

Sedative-related disorders and central nervous system depressants

The pharmacovigilance of sedative-related disorders requires particular attention to the interaction between therapeutic medication, physiological dependence, and respiratory safety. Benzodiazepines and related sedative medicines may have legitimate clinical indications, but prolonged exposure can result in tolerance, physical dependence, cognitive impairment, falls, and withdrawal symptoms following abrupt cessation. The likelihood and severity of these effects vary according to the specific medication, dose, duration of use, patient characteristics, and concurrent exposure to other depressants.

A principal finding is that medication review should distinguish physiological dependence from other patterns of substance-related harm. The presence of dependence does not, by itself, establish that a patient is misusing a medicine or should have treatment abruptly discontinued. Sudden cessation after sustained benzodiazepine exposure can precipitate serious withdrawal, including seizures in some circumstances. Where discontinuation is clinically indicated, an individualized, medically supervised taper may be necessary. Pharmacovigilance should document withdrawal symptoms, changes in mental status, medication adherence, concurrent substance exposure, and the rationale for dose adjustments.

Polysubstance exposure increases the complexity of risk assessment. A patient may receive medication for opioid use disorder while also using alcohol, benzodiazepines, gabapentinoids, sedating antihistamines, or other central nervous system depressants. Each substance may contribute to the overall clinical risk, and the combined effects cannot always be predicted by evaluating the medicines separately. Medication reconciliation should therefore include prescribed drugs, nonprescription products, supplements, and relevant nonmedical substance use. Clinicians should use this information to identify potentially hazardous combinations, establish appropriate monitoring, and develop a coordinated treatment plan.

The existence of a drug interaction should not automatically lead to discontinuation of effective addiction treatment. For example, concurrent sedative exposure in a patient receiving medication for opioid use disorder requires careful assessment and risk mitigation. Clinical decisions should consider the indication for each medicine, the severity of the underlying conditions, the availability of alternatives, and the potential consequences of withholding treatment. The objective is to reduce avoidable harm while maintaining access to clinically indicated care.

Medication interactions and polypharmacy

Polypharmacy is a recurring determinant of medication-related risk in addiction treatment. Patients may receive pharmacotherapy for substance use disorders alongside antidepressants, antipsychotics, anticonvulsants, cardiovascular medicines, analgesics, and treatments for infectious or metabolic diseases. The resulting medication profile may involve multiple pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions, some of which are clinically important even when every individual medicine is prescribed appropriately.

Pharmacokinetic interactions occur when one substance alters the absorption, distribution, metabolism, or elimination of another. Changes in drug-metabolizing enzyme activity can increase or decrease medication exposure, potentially reducing efficacy or increasing toxicity. Pharmacodynamic interactions occur when medicines produce additive, opposing, or otherwise interacting effects on physiological systems. Examples include combined respiratory depression from opioids and sedatives, additive QT prolongation from medicines that affect cardiac

repolarization, and increased bleeding risk when certain anticoagulants are combined with interacting drugs.

The findings support systematic medication reconciliation at treatment initiation, during transitions between care settings, after significant changes in clinical status, and whenever new medicines are introduced. A complete medication history is especially important when patients receive care from multiple prescribers or obtain medicines through different health services. Fragmented prescribing can obscure the cumulative effects of treatment and increase the likelihood that interactions will remain undetected.

Interaction screening tools can assist clinicians, but their outputs require clinical interpretation. Electronic systems may generate alerts for combinations that are manageable with monitoring, while some clinically significant interactions may be missed because the relevant exposure or patient characteristic is not recorded. Excessive low-specificity alerts may also contribute to alert fatigue, reducing the likelihood that professionals respond appropriately to the most consequential warnings. Effective implementation therefore requires risk prioritization, clear explanations of alert significance, and mechanisms for documenting justified clinical decisions.

Adverse drug reactions and medication-related harm

A further finding is that adverse drug reactions should be evaluated according to severity, timing, biological plausibility, preventability, and consequences for continued treatment. Reactions may be predictable extensions of a medicine's pharmacological action, such as sedation from central nervous system depressants, or less predictable events involving immune mechanisms, unusual susceptibility, or complex interactions. Some reactions are mild and self-limiting, whereas others may require urgent intervention, medication withdrawal, hospitalization, or long-term follow-up.

In addiction treatment, adverse effects may be difficult to distinguish from symptoms of the underlying disorder, intoxication, withdrawal, psychiatric comorbidity, or other medical conditions. Nausea, sleep disturbance, anxiety, fatigue, dizziness, and changes in mood are examples of symptoms that may have several possible explanations. A temporal association between medication exposure and a symptom is important, but it does not establish causation by itself. Clinical evaluation should consider the timing of exposure, dose changes, other medicines, recent substance use, alternative diagnoses, and the response to appropriate interventions.

Medication-related harm should also be distinguished from medication error. An adverse drug reaction may occur despite correct prescribing and administration, whereas a medication error involves a preventable failure in the medication-use process. Errors may arise from incorrect prescribing, dispensing, administration, monitoring, communication, or documentation. Some errors result in no observable harm, while others cause serious adverse outcomes. Pharmacovigilance and medication safety programmes should capture both categories because they provide complementary information: adverse-reaction reports help characterize medicine-related risks, while medication-error investigations identify weaknesses in the processes through which treatment is delivered.

Preventability assessment is particularly valuable because it directs attention toward modifiable causes. A severe adverse event may be associated with an inappropriate dose, an unrecognized contraindication, failure to monitor a known risk, or a preventable interaction. Other events may occur despite appropriate clinical practice. These circumstances should not be treated as equivalent. A fair review process examines the available information, identifies system-level contributors, and distinguishes individual clinical decisions from deficiencies in communication, staffing, technology, or organizational procedures.

Clinical monitoring and individualized risk stratification

The findings support the use of individualized monitoring plans rather than uniform procedures applied without regard to clinical context. Baseline assessment should identify relevant medical and psychiatric conditions, previous adverse reactions, current medications, substance exposure, treatment history, and factors that may influence pharmacokinetics or treatment adherence. Depending on the medication and the patient's circumstances, monitoring may include vital signs, mental status, respiratory function, electrocardiography, renal and hepatic function, or other clinically indicated investigations.

Monitoring frequency should be determined by the medication's known risks, the patient's clinical stability, recent dose changes, and the consequences of an adverse event. More intensive observation may be necessary during treatment initiation, significant dose adjustments, suspected intoxication, withdrawal, or deterioration in organ function. Stable patients may require a different monitoring schedule from those with complex comorbidities or multiple interacting medicines. Such differentiation allows clinical resources to be directed toward situations in which monitoring is most likely to prevent harm.

Laboratory testing should be guided by a defined clinical purpose. Testing without an appropriate indication may generate incidental abnormalities, unnecessary follow-up, additional costs, and avoidable treatment delays. Conversely, failure to obtain indicated investigations may leave important risks undetected. A rational monitoring protocol specifies the parameter being assessed, the clinical reason for testing, the conditions that require action, and the procedure for communicating results.

The interpretation of monitoring results also requires contextual judgment. An isolated abnormal value may need confirmation or assessment alongside other findings, whereas a changing trend may indicate a developing problem before a formal threshold is reached. Clinical decision-making should therefore incorporate the patient's symptoms, baseline status, relevant exposure history, and trajectory over time. Electronic records and clinical decision-support systems can assist with trend recognition, but they should supplement rather than replace professional assessment.

Pharmacovigilance reporting and signal detection

Spontaneous adverse-event reporting remains an important component of post-marketing safety surveillance. Clinicians, pharmacists, nurses, patients, and other stakeholders may identify suspected reactions that warrant documentation and reporting through the applicable national or institutional system. Reports can contribute to the identification of previously unrecognized adverse effects, changes in the frequency or severity of known reactions, and patterns associated with particular patient groups, formulations, or combinations of medicines.

However, spontaneous reporting systems have important limitations. Underreporting is common, and the likelihood of reporting may vary according to event severity, professional awareness, media attention, institutional procedures, and perceived causality. Reports may contain incomplete information about dose, duration, concomitant medicines, or the patient's underlying health. In addition, the number of reports cannot ordinarily be used as a direct estimate of incidence because the total number of exposed patients and the reporting probability are often unknown.

Signal detection therefore requires systematic evaluation rather than simple counting. A safety signal may emerge from repeated reports of a similar event, an unusual clinical pattern, a newly identified interaction, or evidence from observational studies and clinical trials. Assessment should consider the consistency of the evidence, temporal relationships, biological plausibility, alternative explanations, exposure data, and the seriousness of the potential outcome. A signal

indicates a possible association requiring further evaluation; it does not necessarily establish that a medicine caused the reported event.

In addiction treatment, signal detection may be complicated by exposure to multiple substances, uncertain product composition, interrupted treatment, and incomplete clinical histories. These limitations increase the importance of detailed case documentation and collaboration between clinical services, pharmacists, toxicologists, epidemiologists, and pharmacovigilance specialists. Reports that include accurate medication histories and relevant clinical findings are more useful for identifying patterns and determining whether further investigation is warranted.

Treatment retention, adherence, and continuity of care

Medication safety cannot be separated from treatment continuity. Evidence-based treatment for opioid use disorder is associated with reduced overdose risk and mortality, and clinical guidance emphasizes access to effective medications rather than withdrawal management alone.

A pharmacovigilance approach that focuses exclusively on adverse effects without considering the risks of treatment interruption may therefore produce an incomplete assessment of overall patient safety.

Treatment discontinuation may occur for multiple reasons, including adverse effects, inadequate symptom control, difficulties accessing care, stigma, financial constraints, misunderstanding of treatment instructions, and personal preferences. Some of these factors are modifiable through improved communication, simplified treatment regimens, timely follow-up, and coordination between healthcare professionals. Others may require changes to the treatment plan or support for practical barriers to attendance.

The assessment of adherence should be nonjudgmental and clinically focused. Missed doses or interruptions may reflect adverse effects, changes in living circumstances, problems obtaining prescriptions, or uncertainty about the intended regimen. Understanding the cause is more useful than interpreting every interruption as deliberate noncompliance. For medications associated with withdrawal or changes in tolerance, treatment gaps may also alter the safety of subsequent dosing. Clinical reassessment may therefore be necessary before restarting a regimen following a significant interruption.

Continuity of care is especially important during transitions between inpatient services, outpatient clinics, community treatment programmes, emergency departments, and primary care. Medication discrepancies may arise when information is transferred incompletely or when different services use inconsistent documentation systems. A structured transition process should identify current medicines, recent dose changes, unresolved adverse effects, required monitoring, and the professional responsible for follow-up. These procedures can reduce preventable errors and help maintain the therapeutic benefits of treatment.

Patient communication and shared decision-making

Patient communication is an essential determinant of medication safety because pharmacovigilance depends partly on the accurate recognition and reporting of symptoms. Patients need understandable information about expected effects, clinically significant warning signs, relevant interactions, administration requirements, and the circumstances in which urgent medical assessment is necessary. Information should be adapted to the person's health literacy, language needs, clinical condition, and preferred method of communication.

A nonjudgmental approach is particularly important in addiction treatment. Fear of stigma, punishment, or treatment exclusion may discourage patients from disclosing substance use, missed doses, or adverse symptoms. Incomplete disclosure can undermine medication reconciliation and make risk assessment less reliable. Healthcare professionals should explain

why accurate information matters and distinguish safety-related questions from moral judgments about substance use.

Shared decision-making can improve the alignment between the prescribed regimen and the patient's circumstances. Discussions should address anticipated benefits, relevant risks, alternatives, treatment burden, practical barriers, and the patient's preferences. Where several evidence-based options are available, the decision should reflect clinical suitability and informed patient choice. This process does not remove the clinician's responsibility to provide appropriate recommendations, but it helps ensure that treatment plans are realistic and understood.

Patient-reported outcomes can complement laboratory tests and clinician-observed findings. Structured symptom assessments may identify adverse effects that are not evident during a brief consultation, while follow-up questionnaires can reveal whether treatment burden affects adherence or daily functioning. Such information should be interpreted alongside clinical findings and used to guide appropriate assessment rather than as a substitute for diagnostic evaluation.

The role of pharmacists in pharmacovigilance

Pharmacists can contribute substantially to integrated medication safety in addiction treatment through medication reconciliation, interaction screening, dose and formulation verification, patient education, adverse-event documentation, and communication with prescribers. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, pharmaceutical formulations, and medication-use processes can help identify risks that might otherwise remain unnoticed during routine care.

A pharmacist-led medication review may identify duplicate therapy, contraindicated combinations, potentially inappropriate doses, unclear administration instructions, or medicines that require additional monitoring. Where concerns are identified, communication with the responsible prescriber should focus on the clinical significance of the problem and possible risk-reduction strategies. Pharmacists can also support patients in understanding the purpose of treatment, recognizing adverse effects, and knowing when to seek professional advice.

The effectiveness of these activities depends on access to sufficiently complete clinical information and clearly defined professional responsibilities. Pharmacists may be unable to assess a suspected interaction adequately if they lack information about diagnoses, laboratory results, recent substance exposure, or the intended treatment plan. Interprofessional communication and access to relevant records are therefore important components of safe medication management.

Pharmacist involvement should be integrated into the broader clinical team rather than treated as an isolated intervention. Coordinated review can improve the consistency of medication information across prescribing, dispensing, administration, and follow-up. It can also support the identification of recurring medication errors and inform institutional education and quality-improvement activities.

Organizational determinants and digital safety systems

The findings indicate that medication-related harm is not determined solely by individual prescribing decisions. Organizational factors—including staffing, workload, communication, training, information-system design, and access to clinical supervision—can influence whether risks are identified and managed effectively. A technically correct prescribing policy may fail to protect patients if staff lack the time or information required to apply it consistently.

Standardized protocols can reduce avoidable variation by defining minimum requirements for medication reconciliation, monitoring, adverse-event reporting, and clinical escalation.

However, protocols must allow appropriate clinical judgment where patient circumstances differ. Overly rigid procedures may be unsuitable for complex cases, while vague guidance may lead to inconsistent implementation. Effective policies should specify core safety requirements, identify responsible personnel, and provide mechanisms for documenting justified deviations.

Electronic health records can support medication safety by consolidating medication histories, displaying relevant allergies, documenting adverse reactions, and recording monitoring results. Decision-support systems may identify potential interactions or flag medicines that require additional assessment. Nevertheless, these systems depend on data quality, regular updating, and appropriate configuration. Inaccurate medication lists, duplicate patient records, incomplete allergy information, and poorly prioritized alerts can reduce their effectiveness.

Digital systems also introduce concerns relating to confidentiality, data security, access control, and the appropriate use of patient information. Addiction-related records may contain particularly sensitive information, making responsible information governance important. Institutions should ensure that access is limited to authorized purposes, data are handled in accordance with applicable requirements, and patients receive appropriate information about relevant data practices.

The pharmacovigilance of addiction-treatment medications requires additional examination of risk prediction, clinically significant drug interactions, treatment transitions, special populations, real-world safety surveillance, and the relationship between medication-related harm and treatment outcomes. These dimensions are particularly important because addiction treatment frequently involves prolonged pharmacotherapy, fluctuating clinical status, coexisting psychiatric or physical disorders, and variable exposure to prescribed and non-prescribed substances. Consequently, medication safety cannot be adequately assessed through isolated adverse-event descriptions or the intrinsic toxicity of individual pharmaceutical agents. It must be evaluated within the broader clinical context in which medicines are initiated, administered, monitored, adjusted, interrupted, and discontinued.

An essential finding of this integrated perspective is that pharmacological risk is dynamic rather than static. The same medication may demonstrate an acceptable safety profile under stable treatment conditions but become substantially more hazardous following an alteration in dose, the introduction of an interacting substance, deterioration in hepatic or renal function, an acute respiratory illness, or a transition between treatment settings. Risk assessment should therefore be repeated at clinically meaningful points throughout the treatment pathway. Initial prescribing assessments remain necessary, but they cannot substitute for continued evaluation of changing physiological, behavioral, and environmental determinants of medication-related harm.

Pharmacovigilance During Treatment Initiation and Dose Stabilization

The initiation phase represents a clinically sensitive period because therapeutic exposure, individual pharmacodynamic responses, and the patient's capacity to tolerate treatment may not yet be fully characterized. During this period, clinicians should distinguish expected pharmacological effects from potentially harmful reactions, identify contraindications, evaluate concomitant medication use, and establish a monitoring plan proportionate to the anticipated risks. In opioid agonist treatment, particular attention should be directed toward sedation, respiratory compromise, interactions with central nervous system depressants, and evidence that the selected dose is not adequately tolerated.

The relationship between dose and toxicity is not necessarily linear across individuals. Differences in opioid tolerance, metabolism, receptor sensitivity, comorbidity, and concurrent substance exposure can produce substantial variation in clinical response. A dose that is appropriate for one patient may result in excessive sedation in another, even when both receive

the same medicinal product. Accordingly, dose selection should be based on clinical assessment and established treatment protocols rather than assumptions that a standardized dose guarantees a standardized physiological response.

Pharmacovigilance during initiation should also account for delayed adverse effects. The absence of an immediate reaction does not establish that a regimen will remain safe as drug concentrations accumulate or as interacting medications are introduced. This consideration is relevant to medicines with prolonged elimination, active metabolites, or complex pharmacokinetic characteristics. Monitoring should therefore consider the expected time course of exposure and the possibility that clinically significant toxicity may emerge after the initial administration.

A further consideration is the differentiation between treatment intolerance and inadequate therapeutic response. Withdrawal symptoms, craving, sleep disturbance, nausea, anxiety, or other complaints may arise from insufficient treatment, adverse drug reactions, the underlying disorder, or several overlapping mechanisms. Incorrectly interpreting every symptom as toxicity may lead to unnecessary dose reduction or treatment discontinuation. Conversely, attributing all symptoms to the underlying addiction may delay recognition of an adverse reaction. Structured clinical assessment is required to establish the most plausible explanation and determine the appropriate response.

Risk Management During Maintenance Pharmacotherapy

Maintenance treatment introduces a different safety profile from treatment initiation. Once a regimen has been stabilized, immediate tolerability may improve and treatment routines may become established. Nevertheless, long-term exposure can create continuing opportunities for interactions, cumulative adverse effects, changes in organ function, medication duplication, and treatment-related complications. Pharmacovigilance should therefore be integrated into routine maintenance appointments rather than reserved exclusively for patients who report acute symptoms.

For methadone and buprenorphine, maintenance safety involves continued assessment of treatment effectiveness, sedation, respiratory risk, medication access, and concurrent exposure to other substances. For patients receiving methadone, the possibility of QT-interval prolongation should remain part of risk-based cardiovascular assessment, particularly when additional risk factors are present. For buprenorphine, clinicians should remain attentive to sedative co-exposure, hepatic considerations where applicable, and the clinical implications of formulation changes. The pharmacological characteristics of these medicines differ, so monitoring procedures should not assume that their adverse-effect profiles are interchangeable.

Long-term treatment also requires periodic reassessment of the continuing indication for each concomitant medicine. Patients may accumulate prescriptions from different clinicians over time, particularly when care is distributed across primary care, psychiatry, emergency medicine, pain management, and addiction services. Medicines originally prescribed for a short-term indication may persist after that indication has resolved. Such prescribing inertia can increase treatment complexity and expose patients to avoidable interactions. Medication reconciliation and structured review should identify medicines that are unnecessary, duplicated, poorly tolerated, or no longer consistent with the current clinical plan.

However, reducing polypharmacy should not become an indiscriminate objective. Multiple medications may be clinically justified when a patient has several coexisting conditions. The relevant pharmacovigilance question is whether each medicine has a defensible indication, an acceptable benefit–risk balance, and a monitoring strategy appropriate to its potential harms. Rational pharmacotherapy seeks to minimize unnecessary exposure without withholding effective treatment for comorbid disease.

Clinical Significance of Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Interactions

Drug interactions are among the most important preventable determinants of medication-related harm in addiction treatment. Their significance arises from the possibility that one substance can alter the concentration, duration, or physiological effects of another. Pharmacokinetic interactions involve changes in absorption, distribution, metabolism, or elimination, whereas pharmacodynamic interactions occur when substances produce additive, synergistic, or opposing effects at physiological targets.

Metabolic interactions warrant particular attention when a medicine depends substantially on specific drug-metabolizing enzymes or transport pathways. The introduction or withdrawal of an enzyme inhibitor or inducer may alter exposure to the affected medication. Depending on the direction and magnitude of the interaction, the result may be increased toxicity, reduced therapeutic effectiveness, or destabilization of a previously effective regimen. The clinical implications depend on the particular medicines involved, the patient's organ function, the duration of combined exposure, and the availability of alternative treatments.

Pharmacodynamic interactions are especially consequential when several agents depress the central nervous system. Opioids, benzodiazepines, alcohol, sedative-hypnotics, and some other centrally acting medicines can produce overlapping effects on consciousness, coordination, and respiratory function. Concurrent exposure may increase the likelihood of profound sedation, respiratory depression, falls, impaired driving, and potentially fatal overdose. The degree of risk varies according to dose, tolerance, timing, route of administration, comorbidity, and the substances involved.

These risks must be managed without adopting simplistic assumptions that every combination is invariably contraindicated. Some patients receiving medication for opioid use disorder also require treatment for anxiety disorders, seizure disorders, insomnia, or other clinically significant conditions. The appropriate response involves individualized risk–benefit evaluation, coordination between prescribers, careful selection of medicines, and monitoring for clinically meaningful toxicity. Abruptly discontinuing a benzodiazepine or another dependence-producing medication may itself create serious risks, including severe withdrawal complications. Decisions should therefore reflect the pharmacology of the individual substances and the clinical circumstances.

Interaction screening systems can support these decisions, but their output should be interpreted critically. Electronic alerts may identify theoretical interactions that have limited relevance in a particular clinical setting, while excessive alert frequency can encourage clinicians to override warnings without adequate review. Effective medication-safety systems should prioritize interactions according to clinical severity, evidence strength, preventability, and the feasibility of mitigation. A high-severity alert should communicate the mechanism of harm and recommend a practical response rather than merely displaying a generic warning.

Hepatic and Renal Function as Determinants of Medication Safety

Hepatic and renal dysfunction may substantially alter the pharmacokinetics of addiction-treatment medicines and their concomitant therapies. Liver disease can affect metabolic capacity, protein binding, and the disposition of drugs or active metabolites. Renal impairment may reduce the elimination of certain compounds and increase exposure to medicines that depend on renal clearance. The consequences are medication-specific; a uniform dose-adjustment rule cannot safely be applied across all agents used in addiction treatment.

Assessment of organ function should therefore be guided by the pharmacological properties of the prescribed medicines, the severity and trajectory of the underlying disease, and relevant product information. Laboratory results should be interpreted alongside clinical findings rather

than used as isolated indicators of safety. A single measurement may not adequately characterize a changing clinical condition, and apparently stable laboratory values do not exclude every form of drug-related toxicity.

Hepatic considerations are particularly relevant when selecting and monitoring pharmacotherapy for patients with alcohol use disorder, viral hepatitis, or other liver conditions. Medication choice should account for the indication, disease severity, potential hepatotoxicity, and the availability of appropriate alternatives. When a suspected drug-induced liver injury occurs, the assessment should consider the temporal relationship between exposure and symptoms, biochemical patterns, alternative causes, concomitant medicines, and the clinical consequences of withdrawing or continuing treatment.

Renal considerations are equally important in patients with chronic kidney disease, dehydration, acute illness, or concurrent exposure to potentially nephrotoxic medicines. Where clinically indicated, dose adjustment, laboratory surveillance, or substitution may reduce avoidable risk. These decisions should be based on current prescribing guidance and the patient's overall condition, with specialist input when the risk is substantial or the pharmacokinetic situation is complex.

Pharmacovigilance in Patients With Coexisting Psychiatric Disorders

Psychiatric comorbidity can complicate the recognition and management of adverse drug reactions. Depression, anxiety, post-traumatic stress disorder, bipolar disorder, psychotic disorders, and sleep disturbances may coexist with substance use disorders and require additional pharmacotherapy. Symptoms attributable to an adverse reaction may overlap with manifestations of psychiatric illness, intoxication, withdrawal, or psychosocial stress. Diagnostic uncertainty can consequently delay intervention or result in inappropriate treatment modification.

A structured evaluation should consider the onset of symptoms relative to medication initiation or dose adjustment, their progression, associated physical findings, previous episodes, and any changes in substance exposure. For example, agitation, insomnia, tremor, confusion, or mood changes should not automatically be attributed to a psychiatric diagnosis without considering withdrawal, intoxication, medication interactions, and other medical explanations. Equally, a temporal association with medication exposure does not prove causality; alternative explanations must be assessed.

Polypharmacy involving antidepressants, antipsychotics, mood stabilizers, sedatives, and addiction-treatment medicines requires particular attention to overlapping adverse-effect profiles. Relevant concerns may include sedation, orthostatic hypotension, cardiac conduction effects, metabolic complications, movement disorders, and interactions that alter drug exposure. The precise monitoring requirements depend on the selected agents and the patient's clinical risk factors.

Pharmacovigilance should also incorporate patient-reported changes in functioning. Deterioration in concentration, mobility, sleep quality, appetite, emotional stability, or capacity to complete daily activities may indicate an adverse effect even when conventional laboratory investigations remain unremarkable. Such reports should be documented and investigated rather than dismissed as nonspecific complaints. A patient-centered approach increases the likelihood that clinically meaningful effects will be recognized before they lead to treatment discontinuation or serious harm.

Pregnancy, Older Age, and Other Clinically Vulnerable Populations

Medication safety in pregnancy requires balancing the potential risks of pharmacological exposure against the consequences of inadequately treated addiction. Untreated opioid use

disorder may expose the pregnant patient and fetus to substantial harms associated with instability, withdrawal, overdose, and disrupted prenatal care. Treatment decisions should therefore be individualized and guided by current obstetric and addiction-treatment recommendations. Pharmacovigilance should document maternal adverse effects, relevant obstetric outcomes, treatment continuity, and neonatal findings where clinically appropriate.

Medication changes during pregnancy or the postpartum period should be evaluated carefully because physiological changes may alter drug disposition and because abrupt treatment disruption can create substantial clinical risks. The postpartum period warrants particular vigilance when sleep deprivation, mental health symptoms, changes in tolerance, and alterations in treatment routines coincide. Coordination between addiction services, obstetric care, primary care, and pediatric services can help identify and manage emerging safety concerns.

Older adults may be more vulnerable to medication-related harm because of changes in renal function, altered drug distribution, increased sensitivity to certain central nervous system effects, and a greater likelihood of multiple chronic conditions. Polypharmacy, orthostatic hypotension, impaired balance, cognitive changes, and falls may have disproportionate consequences in this population. Medication review should consider both pharmacological interactions and practical factors, including vision, dexterity, cognition, health literacy, and the complexity of dosing schedules.

Other groups may require additional safeguards, including patients with chronic respiratory disease, cardiovascular disease, seizure disorders, severe hepatic impairment, or a history of medication-related complications. Vulnerability should not be treated as an automatic reason to deny effective addiction pharmacotherapy. Instead, it should inform treatment selection, monitoring intensity, multidisciplinary consultation, and the development of contingency plans for acute deterioration.

Medication Transitions, Treatment Interruption, and Reinitiation

Transitions between healthcare settings create identifiable opportunities for medication discrepancies. Admission to hospital, discharge, transfer to a residential program, entry into community treatment, incarceration, release from custody, and relocation between services may disrupt prescribing arrangements or communication. Such transitions can lead to omitted doses, unintended duplication, inaccurate medication histories, and uncertainty regarding the responsible prescriber.

Medication reconciliation should establish which medicines the patient is actually taking, the indications for each medicine, the current dosing schedule, recent changes, relevant allergies or previous adverse reactions, and any non-prescribed substances that may affect safety. Discrepancies should be resolved through communication with the patient, pharmacy, prescribing clinician, and other relevant records when available. A list copied from an earlier encounter should not be assumed to represent the current regimen.

Treatment interruption presents a separate pharmacological concern. Tolerance to opioids may decline after a period without exposure, increasing vulnerability to overdose if the patient resumes a previously tolerated dose. Interruption may also destabilize treatment engagement and increase exposure to an unpredictable illicit drug supply. Discharge planning should therefore address continuity of evidence-based treatment, access to appropriate follow-up, overdose education, and naloxone where indicated.

Reinitiation following interruption should be guided by the medicine involved, the duration and circumstances of the interruption, current tolerance, recent substance exposure, and the patient's clinical condition. Previous dosing history alone may be insufficient to establish a safe restart regimen. This principle is particularly important when tolerance has changed or when the patient

has experienced an acute illness, overdose, or substantial alteration in concomitant medication use.

Transitions also require reliable documentation of suspected adverse reactions. If a patient experienced a clinically significant reaction in one setting, that information should accompany the patient into subsequent care. Failure to communicate the event may result in re-exposure to the suspected medicine or repetition of a preventable medication error. Documentation should distinguish confirmed allergies, serious adverse reactions, dose-related intolerance, and unverified patient-reported concerns whenever the available evidence permits.

Real-World Evidence and the Interpretation of Adverse-Event Reports

Spontaneous adverse-event reporting systems are important components of pharmacovigilance because they can identify unexpected safety concerns that may not have been fully characterized before a medicine entered routine clinical use. Reports can originate from healthcare professionals, patients, manufacturers, and other permitted sources. They may reveal unusual reaction patterns, unexpected severity, interactions, or concerns associated with particular formulations or treatment circumstances.

However, spontaneous reports have important methodological limitations. They are affected by underreporting, selective reporting, incomplete clinical information, differences in awareness, and stimulated reporting following publicity or regulatory warnings. The number of reports cannot, by itself, establish the incidence of an adverse reaction or prove that a medicine caused the event. Reporting rates are also influenced by prescribing volume, duration of exposure, patient characteristics, and the intensity of surveillance.

These limitations are particularly relevant to addiction pharmacotherapy because the clinical presentation of an adverse event may be influenced by concurrent substance exposure, variable tolerance, underlying disease, and social circumstances. A report describing overdose in a patient prescribed an opioid agonist, for example, does not independently establish that the prescribed medicine was the sole cause. Causal assessment should consider the timing of exposure, toxicological findings where available, concomitant substances, prescribed doses, adherence, medical history, and plausible alternative explanations.

Nevertheless, uncertainty should not become a reason to avoid reporting. Individual reports may contribute to signal detection when combined with other evidence, especially when the event is serious, unexpected, biologically plausible, or associated with a pattern of similar observations. The purpose of reporting is to support systematic evaluation, not to require the reporting clinician to establish definitive causality before submitting a suspected adverse reaction.

Signal evaluation should integrate spontaneous reports with clinical trials, observational studies, electronic health records, poison-center data, prescription information, and other relevant sources. Each evidence stream has distinct strengths and weaknesses. Randomized trials can provide strong evidence about selected outcomes under controlled conditions, but their eligibility criteria and sample sizes may limit detection of rare or delayed events. Observational studies may better reflect routine clinical practice, although confounding by indication, selection bias, and incomplete exposure measurement can affect their conclusions.

A comprehensive pharmacovigilance system therefore depends on triangulation rather than reliance on a single data source. Findings become more credible when independent methods demonstrate compatible patterns, when the timing and biological mechanism are plausible, and when alternative explanations have been systematically considered.

Medication-Safety Indicators and Quality Improvement

The effectiveness of pharmacovigilance programs should be assessed through indicators that capture both clinical outcomes and the reliability of safety processes. Potential indicators include the proportion of patients receiving documented medication reconciliation, completion of clinically indicated monitoring, timely follow-up after treatment initiation, documentation of serious adverse reactions, and successful communication of medication changes across care settings. These process measures can help identify weaknesses before they result in severe patient harm.

Outcome measures may include suspected medication-related emergency visits, overdose events, clinically significant interactions, treatment interruptions associated with medication-access failures, and preventable adverse drug events. Interpretation requires careful consideration of baseline risk, patient complexity, follow-up duration, and differences in service organization. An increase in recorded adverse reactions may reflect deterioration in safety, but it may also indicate improved reporting and more effective detection.

Quality-improvement programs should therefore avoid interpreting a single indicator in isolation. A service that reports more suspected adverse reactions may have a stronger safety culture than one in which reporting is rare. Similarly, a lower rate of documented reactions is not necessarily evidence of superior safety if surveillance is incomplete. Evaluation should combine quantitative indicators with case review, patient feedback, and assessment of whether identified problems lead to corrective action.

A useful approach is to establish a continuous improvement cycle: identify a safety problem, analyze its contributing factors, implement a proportionate intervention, monitor the results, and revise the intervention when necessary. Interventions may include updated prescribing protocols, staff education, medication-reconciliation procedures, improved referral pathways, or changes to electronic decision support. Their effectiveness should be evaluated against predefined objectives rather than assumed from implementation alone.

Human Factors, Organizational Culture, and Preventable Medication Harm

Medication-related harm frequently reflects interactions between clinical complexity and system design. Workload, interruptions, staffing constraints, ambiguous documentation, fragmented information systems, and unclear professional responsibilities may contribute to errors even when individual practitioners possess appropriate knowledge. Pharmacovigilance should therefore examine the circumstances in which an event occurred rather than limiting its analysis to the final prescribing or administration decision.

A non-punitive reporting culture can encourage healthcare professionals to disclose errors, near misses, and suspected adverse reactions. Such a culture does not eliminate professional accountability; rather, it distinguishes deliberate unsafe conduct from unintended mistakes and system-level vulnerabilities. The objective is to identify modifiable causes and prevent recurrence while maintaining appropriate standards of clinical responsibility.

Root-cause analysis may reveal that an apparently individual error originated from an incomplete medication history, an unclear handover, a misleading electronic alert, or the absence of a standardized monitoring protocol. Corrective measures should address the actual contributing factors. Repeating a general instruction to “be more careful” is unlikely to prevent recurrence when the underlying process remains unchanged.

Patients should also be included in medication-safety systems. They often possess information unavailable in formal records, including actual medication-taking patterns, perceived adverse effects, changes in non-prescribed substance use, and practical barriers to obtaining treatment. Clear communication and accessible reporting pathways can improve the completeness of safety

information. Patients should understand that reporting a suspected reaction is intended to improve care and does not automatically imply that effective addiction treatment must be discontinued.

Interpretation and Future Pharmacovigilance Priorities

The evidence-informed interpretation of pharmacovigilance in addiction treatment supports a multidimensional approach in which therapeutic effectiveness and medication safety are evaluated together. Adverse reactions should not be interpreted independently of the consequences of untreated addiction, treatment discontinuation, overdose vulnerability, or the loss of continuity of care. Equally, the established benefits of addiction pharmacotherapy should not obscure preventable medication-related risks. A clinically defensible approach requires simultaneous attention to treatment benefit, patient-specific vulnerability, the probability and severity of harm, and the feasibility of risk reduction.

Future research should prioritize better characterization of adverse-event patterns in real-world treatment populations, particularly among individuals with complex comorbidity and substantial polypharmacy. Longitudinal studies could help clarify how medication-related risks evolve during initiation, maintenance, interruption, and reinitiation. Research should also distinguish adverse effects attributable to prescribed treatment from those associated with non-prescribed substances, underlying illness, and treatment-system failures wherever data permit. Such distinctions are methodologically challenging but important for producing clinically meaningful safety estimates.

Standardized terminology and interoperable reporting systems could improve the comparison of findings across services and jurisdictions. Consistent definitions of adverse drug reactions, medication errors, serious adverse events, treatment interruptions, and overdose outcomes would reduce ambiguity in clinical documentation and research datasets. Linkage between prescribing records, clinical encounters, laboratory findings, and pharmacovigilance reports may strengthen signal assessment, provided that privacy, data governance, and appropriate access controls are maintained.

Digital decision-support systems may further assist clinicians by identifying clinically relevant interactions, prompting appropriate monitoring, and highlighting discrepancies during medication transitions. Their implementation should be evaluated for diagnostic accuracy, usability, false-positive alerts, and effects on clinical workflow. Automated recommendations should support rather than replace professional judgment, particularly when the evidence is incomplete or the patient's circumstances require individualized decisions.

Additional priorities include examining the contribution of pharmacists to medication reconciliation, patient education, adverse-reaction identification, interaction assessment, and communication across care settings. Pharmacists may be particularly well positioned to detect discrepancies between prescribed regimens and actual medication use, although their effectiveness depends on access to relevant clinical information and integration into multidisciplinary teams. Future evaluations should assess whether pharmacist-led interventions improve measurable safety outcomes, treatment continuity, and the timely resolution of medication-related problems.

The overall findings support the conclusion that pharmacovigilance in addiction treatment is most effective when it functions as a continuous clinical and organizational process. It should begin before the first dose, continue throughout maintenance therapy, and remain active during transitions and discontinuation. Effective systems combine individualized prescribing, structured monitoring, reliable documentation, accessible adverse-event reporting, multidisciplinary collaboration, and ongoing evaluation of safety outcomes. This integrated framework provides a basis for reducing preventable medication-related harm while preserving access to evidence-based addiction treatment and its established clinical benefits.

Integrated Elucidation of the findings

Taken together, the findings support several conclusions about pharmacovigilance in addiction treatment. First, medication safety is best understood as a continuous process that combines appropriate selection, individualized prescribing, monitoring, adverse-event recognition, and review of treatment outcomes. Second, medication-specific risks must be evaluated in relation to patient characteristics and concurrent substance exposure. Third, treatment continuity is itself a safety consideration because poorly managed interruption may undermine treatment benefits or introduce new risks. Fourth, effective pharmacovigilance depends on organizational systems, interprofessional collaboration, and patient participation as well as on the pharmacological properties of individual medicines.

These conclusions are consistent with established clinical guidance that recognizes methadone, buprenorphine, and naltrexone as important treatment options for opioid use disorder and emphasizes the need for appropriate clinical assessment and continuing care.

They do not imply that all medications require the same monitoring procedures or that every adverse event is preventable. Instead, they support a proportionate approach in which the intensity and type of monitoring are matched to the medication, the patient, and the anticipated consequences of harm.

A further implication is that pharmacovigilance should contribute to learning and improvement rather than function solely as a mechanism for documenting individual events. Repeated reports of similar errors may reveal weaknesses in prescribing workflows, information transfer, training, or decision-support systems. Review of these patterns can guide corrective measures, including changes to protocols, improved patient education, revised electronic alerts, or more structured interprofessional communication. Such measures should be evaluated to determine whether they reduce preventable harm without creating unnecessary barriers to effective treatment.

The principal limitation of this synthesis is that the findings are based on established pharmacological principles and clinical guidance rather than a newly assembled patient-level dataset. No original adverse-event frequencies, comparative effect estimates, or statistically tested associations are claimed. The relative importance of individual risks will vary according to the medication used, patient population, treatment setting, and healthcare system. Future empirical research should therefore examine how integrated pharmacovigilance interventions affect adverse-event recognition, medication errors, treatment retention, emergency healthcare use, and patient-reported outcomes.

The research synthesis supports an integrated model of pharmacological safety assessment in which medication-specific evidence, individualized clinical evaluation, structured monitoring, and organizational learning operate as complementary components. Effective pharmacovigilance requires attention to both the potential harms of medication exposure and the risks associated with inadequate treatment, fragmented care, and poorly managed discontinuation. By combining evidence-based prescribing with transparent reporting, interprofessional collaboration, and informed patient participation, addiction treatment services can strengthen medication safety while preserving access to clinically effective pharmacotherapy.

Future Perspectives for Advancing Addiction Pharmacotherapy Safety

The findings indicate that the future development of addiction pharmacotherapy will depend on the successful integration of pharmacovigilance, precision medicine, digital health, and evidence-based clinical practice. Future safety frameworks should move toward predictive, preventive, and personalized models capable of identifying risks before serious adverse outcomes occur.

Advanced pharmacovigilance systems should incorporate multidisciplinary collaboration among clinical pharmacologists, addiction specialists, pharmacists, regulatory experts, data scientists, and public health professionals. Such collaboration will facilitate comprehensive evaluation of medication safety from molecular mechanisms to population-level outcomes.

Further research is needed to improve understanding of long-term medication effects, optimize therapeutic monitoring strategies, and develop standardized approaches for evaluating emerging addiction treatments. Novel pharmacological targets, biologic therapies, neuromodulation-associated medications, and combination treatment strategies will require robust safety evaluation before widespread implementation.

The evidence demonstrates that pharmacovigilance is not simply a monitoring mechanism but a comprehensive scientific framework essential for improving the quality, safety, and effectiveness of addiction treatment. Continuous innovation in medication safety assessment, combined with clinical expertise and patient involvement, will strengthen the foundation of modern addiction medicine and contribute to improved global health outcomes.

Comparative Evaluation of Current Pharmacovigilance Models in Addiction Treatment

The comparative analysis of existing pharmacovigilance models demonstrates considerable variation in the effectiveness, accessibility, and integration of medication safety systems across healthcare settings. Developed healthcare systems generally utilize advanced surveillance infrastructures that combine spontaneous reporting, electronic databases, regulatory monitoring, and clinical research networks. In contrast, many healthcare environments continue to rely primarily on traditional adverse event reporting mechanisms, which may limit early detection of safety concerns.

The findings indicate that passive pharmacovigilance systems, although valuable for identifying previously unknown adverse reactions, have several limitations, including incomplete reporting, delayed signal recognition, and dependence on healthcare professionals' awareness and motivation. These limitations are particularly significant in addiction medicine, where adverse effects may be incorrectly attributed to the underlying disorder, withdrawal symptoms, or ongoing substance exposure rather than medication-related causes.

Active pharmacovigilance approaches provide a more comprehensive safety assessment by systematically monitoring defined patient populations, treatment outcomes, and medication exposure patterns. Prospective cohort studies, clinical registries, electronic monitoring programs, and targeted safety studies improve the ability to identify clinically relevant risks and evaluate treatment effectiveness under real-world conditions. The combination of passive and active surveillance methods represents the most effective strategy for achieving comprehensive medication safety assessment.

Evaluation of Long-Term Safety and Treatment Outcomes

The results emphasize that long-term safety evaluation is a critical component of addiction pharmacotherapy because many medications are administered over extended periods, sometimes for years. Short-term clinical trials may not adequately capture delayed adverse effects, cumulative toxicity, changes in treatment response, or effects associated with prolonged medication exposure.

Longitudinal safety monitoring provides essential information regarding treatment sustainability, medication adherence, relapse prevention, functional recovery, and overall patient well-being. The findings suggest that successful addiction treatment should be evaluated through multidimensional outcomes rather than focusing exclusively on abstinence or symptom reduction.

Important parameters for long-term safety assessment include mortality reduction, prevention of overdose events, psychiatric stability, social functioning, employment status, healthcare utilization, and patient-reported quality-of-life indicators. These outcomes provide a broader understanding of medication effectiveness and safety within the context of comprehensive addiction recovery.

Medication Errors and Prevention Strategies in Addiction Pharmacotherapy

Medication errors represent another important safety concern identified through pharmacovigilance analysis. Errors may occur during prescribing, dispensing, administration, monitoring, or patient self-management. Contributing factors include complex dosing regimens, insufficient communication among healthcare providers, inadequate patient education, and incomplete medication histories.

The findings indicate that implementation of medication safety protocols significantly reduces preventable harm. Standardized prescribing guidelines, electronic prescribing systems, clinical decision support tools, pharmacist-led medication reviews, and continuous professional education are effective approaches for minimizing medication errors.

In addiction treatment settings, particular attention should be directed toward dose selection, treatment initiation procedures, transition between medications, management of missed doses, and monitoring during periods of increased vulnerability. These safety measures are essential for preventing overdose, withdrawal complications, and treatment discontinuation.

Contribution of Clinical Pharmacology to Addiction Medication Safety

The results highlight the central role of clinical pharmacology in understanding and optimizing addiction treatment medications. Clinical pharmacologists provide expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, drug interactions, dose optimization, therapeutic monitoring, and individualized treatment planning.

The application of clinical pharmacology principles allows healthcare professionals to better understand variability in medication response among patients. Factors such as age, genetics, organ function, nutritional status, concurrent medications, and environmental influences may significantly affect therapeutic outcomes.

Integration of clinical pharmacology into addiction care improves the rational selection of medications, enhances safety monitoring, and supports evidence-based adjustment of treatment strategies. This interdisciplinary approach strengthens the connection between pharmacological research and practical clinical decision-making.

Role of Pharmaceutical Care and Pharmacists in Pharmacovigilance Systems

The analysis demonstrates that pharmacists represent essential contributors to pharmacovigilance and medication safety programs in addiction treatment. Their accessibility and specialized knowledge position them as key healthcare professionals for identifying medication-related problems and improving therapeutic outcomes.

Pharmacists contribute through:

- Comprehensive medication therapy management;
- Detection and prevention of adverse drug reactions;
- Evaluation of drug–drug and drug–disease interactions;
- Patient counseling regarding safe medication use;
- Promotion of treatment adherence;
- Monitoring of therapeutic effectiveness;
- Participation in adverse event reporting systems.

The findings suggest that expanded integration of pharmacists into addiction treatment teams improves communication between healthcare providers and patients while strengthening overall medication safety. In particular, clinical pharmacy services can support early identification of treatment complications and facilitate timely therapeutic interventions.

Ethical Dimensions of Pharmacovigilance in Addiction Medicine

The results demonstrate that medication safety assessment in addiction treatment must incorporate ethical considerations related to patient autonomy, confidentiality, informed consent, and equitable access to care. Individuals affected by substance use disorders often experience social stigma and healthcare discrimination, which may negatively influence treatment engagement and safety monitoring.

Ethical pharmacovigilance requires respectful communication, protection of patient privacy, and avoidance of biased treatment decisions. Safety systems should ensure that individuals receiving addiction medications are not subjected to unnecessary restrictions or reduced access because of misconceptions regarding addiction or medication-assisted treatment.

The findings emphasize the importance of balancing public health responsibilities with individual patient rights. Effective pharmacovigilance should protect patients while simultaneously supporting access to evidence-based therapies that reduce addiction-related morbidity and mortality.

Education and Training as Foundations of Medication Safety

A major conclusion derived from the analysis is that healthcare professional education represents a fundamental factor influencing pharmacovigilance effectiveness. Knowledge gaps regarding addiction pharmacotherapy, adverse reaction recognition, reporting procedures, and risk management strategies remain significant barriers to optimal medication safety.

Continuous professional development programs should strengthen competencies in addiction medicine, clinical pharmacology, pharmaceutical care, and regulatory pharmacovigilance. Training should emphasize practical skills, including identification of safety signals, interpretation of clinical evidence, patient counseling, and multidisciplinary collaboration.

The findings support the development of integrated educational frameworks involving medical students, pharmacy students, physicians, pharmacists, and other healthcare professionals. Such approaches will contribute to the creation of a highly competent workforce capable of delivering safe and effective addiction treatment.

Strategic Directions for Future Pharmacovigilance Research

Future research priorities identified through this analysis include the development of predictive safety models, expansion of international pharmacovigilance databases, improvement of real-world evidence methodologies, and integration of molecular and clinical data.

Research efforts should focus on:

- Identifying biomarkers associated with medication response and toxicity;
- Developing predictive algorithms for adverse event risk;
- Evaluating long-term outcomes of addiction medications;
- Improving patient-generated safety data collection;
- Strengthening pharmacogenomic applications;
- Establishing globally standardized monitoring approaches.

The future of addiction medication safety will depend on combining scientific innovation with clinical application. Pharmacovigilance systems must evolve from reactive monitoring toward proactive prediction and prevention of medication-related harm.

The comprehensive evaluation demonstrates that pharmacovigilance and safety assessment are fundamental elements of successful addiction treatment. Pharmacological interventions provide significant clinical benefits; however, their effectiveness depends on continuous evaluation of therapeutic risks, patient characteristics, treatment conditions, and emerging safety information. The integration of advanced surveillance technologies, evidence-based clinical practice, personalized medicine approaches, and multidisciplinary collaboration represents the most promising pathway toward improving medication safety. Strengthening pharmacovigilance infrastructure will contribute not only to reducing adverse drug reactions but also to improving treatment confidence, healthcare quality, and long-term recovery outcomes for individuals affected by substance use disorders.

Advancement of Benefit–Risk Assessment in Addiction Pharmacotherapy

The findings of this scientific evaluation demonstrate that benefit–risk assessment represents a central component of contemporary pharmacovigilance and plays a decisive role in determining the clinical value of medications used in addiction treatment. Unlike conventional therapeutic areas where treatment decisions may primarily focus on symptom reduction, addiction pharmacotherapy requires a broader evaluation framework that considers relapse prevention, reduction of overdose mortality, improvement of social functioning, prevention of infectious complications, and enhancement of long-term recovery outcomes.

The analysis indicates that medication-related risks must always be interpreted within the context of the substantial health burden associated with untreated addiction. For example, concerns regarding adverse effects or medication dependence potential should be carefully balanced against the demonstrated benefits of reducing illicit substance use, preventing fatal outcomes, and improving patient stability. Therefore, modern pharmacovigilance approaches emphasize dynamic benefit–risk evaluation rather than isolated assessment of individual adverse events.

Continuous reassessment of medication safety profiles allows healthcare systems to refine treatment guidelines, optimize prescribing strategies, and identify patient groups requiring additional monitoring. This approach supports individualized therapeutic decisions and ensures that pharmacological interventions remain aligned with evolving scientific evidence.

Clinical Signal Detection and Interpretation of Safety Data

The results demonstrate that effective signal detection is one of the most important functions of pharmacovigilance systems. A safety signal represents information suggesting a possible new association between a medication and an adverse outcome that requires further investigation. In addiction treatment, timely identification of such signals is particularly important because medications may be used in large populations and often for prolonged durations.

Traditional signal detection methods based on spontaneous reporting databases remain valuable but may be limited by reporting biases and incomplete clinical information. The findings indicate that combining multiple data sources, including electronic health records, clinical registries, laboratory information systems, and patient-reported outcomes, provides a more comprehensive safety assessment.

Advanced statistical approaches and artificial intelligence-based analytical models have the potential to improve signal detection accuracy by identifying complex relationships between medication exposure and clinical outcomes. However, the interpretation of detected signals requires expert evaluation to distinguish true medication-related risks from coincidental associations. Therefore, human clinical expertise remains essential in transforming pharmacovigilance data into meaningful healthcare decisions.

Pharmacological Monitoring of Medication Adherence and Treatment Effectiveness

The analysis reveals that medication adherence is a critical determinant of both safety and effectiveness in addiction treatment. Poor adherence may reduce therapeutic benefits, increase relapse risk, and contribute to inconsistent medication exposure, potentially affecting adverse event patterns.

Pharmacovigilance systems should therefore incorporate adherence monitoring as an important component of medication safety assessment. Approaches such as pharmacy refill analysis, electronic medication monitoring, patient interviews, and digital adherence technologies can provide valuable information regarding treatment continuity.

The findings suggest that improving adherence requires more than medication availability alone. Successful adherence strategies must address psychological barriers, social challenges, patient expectations, treatment-related concerns, and communication between patients and healthcare professionals. Patient-centered counseling and supportive healthcare environments significantly contribute to safer and more effective pharmacotherapy.

Influence of Mental Health Comorbidities on Medication Safety

A significant observation from the analysis is the influence of psychiatric comorbidities on medication safety outcomes in addiction treatment. Depression, anxiety disorders, trauma-related conditions, psychotic disorders, and personality-related difficulties frequently coexist with substance use disorders and may substantially affect treatment response and safety.

The presence of psychiatric comorbidities increases the complexity of pharmacological management because patients may require multiple medications with overlapping pharmacological effects. This situation creates additional risks related to sedation, cognitive impairment, metabolic interactions, and treatment adherence difficulties.

The findings emphasize the importance of integrated mental healthcare within addiction treatment programs. Collaborative approaches involving psychiatrists, addiction specialists, clinical pharmacologists, and pharmacists allow comprehensive assessment of both addiction-related and psychiatric medication risks.

Pharmacovigilance in Vulnerable Patient Populations

The results highlight the importance of targeted safety monitoring among vulnerable populations receiving addiction medications. These groups may include older adults, pregnant individuals, patients with severe medical comorbidities, individuals with impaired hepatic or renal function, and patients experiencing social instability.

Clinical evidence suggests that standard treatment approaches may not always adequately address the specific safety requirements of these populations. Therefore, pharmacovigilance strategies should incorporate population-specific monitoring protocols and tailored risk management approaches.

Special attention should be given to physiological changes affecting medication metabolism, altered pharmacokinetic profiles, and increased susceptibility to adverse reactions. Individualized clinical assessment remains essential for achieving optimal therapeutic outcomes while minimizing preventable medication-related harm.

Importance of Multidisciplinary Collaboration in Safety Management

The findings strongly support multidisciplinary collaboration as a fundamental requirement for effective pharmacovigilance in addiction medicine. No single healthcare discipline can independently address all aspects of medication safety, given the complex interaction between pharmacology, psychology, social factors, and public health considerations.

Physicians contribute diagnostic expertise, treatment planning, and clinical evaluation; pharmacists provide medication safety analysis and therapeutic optimization; nurses support monitoring and patient communication; psychologists address behavioral factors; and public health specialists contribute population-level prevention strategies.

The integration of multidisciplinary teams improves identification of safety concerns, enhances communication, and promotes coordinated responses to medication-related problems. Healthcare systems should therefore prioritize collaborative models that integrate pharmacovigilance into routine addiction care.

Economic and Health System Perspectives of Medication Safety

The analysis demonstrates that effective pharmacovigilance has significant implications for healthcare sustainability. Preventing adverse drug reactions, medication errors, and treatment complications reduces avoidable healthcare utilization, hospitalization rates, and associated economic costs.

Investment in medication safety systems, professional training, digital surveillance infrastructure, and clinical pharmacy services can generate substantial long-term benefits by improving treatment efficiency and reducing preventable harm.

From a public health perspective, safe and effective addiction pharmacotherapy contributes to reduced disease burden, improved productivity, decreased transmission of infectious diseases, and enhanced social reintegration of affected individuals. Therefore, pharmacovigilance should be considered not only a regulatory requirement but also a strategic investment in population health.

Emerging Concept of Predictive Pharmacovigilance

Addiction treatment represents a major global healthcare challenge requiring effective, safe, and evidence-based pharmacological interventions. Medications used for substance use disorders, including opioid use disorder, alcohol dependence, and nicotine dependence therapies, have demonstrated significant benefits in reducing morbidity, mortality, relapse rates, and healthcare burden. However, the complexity of addiction pharmacotherapy, prolonged treatment duration, comorbid conditions, polypharmacy, and individual variability in therapeutic response highlight the critical importance of comprehensive pharmacovigilance and medication safety assessment.

This scientific review explores contemporary approaches to evaluating the safety, effectiveness, and risk management of pharmacological medications used in addiction treatment. Particular emphasis is placed on adverse drug reaction detection, benefit–risk assessment, therapeutic monitoring, real-world evidence generation, and regulatory pharmacovigilance strategies. The analysis demonstrates that modern medication safety systems must extend beyond traditional adverse event reporting by incorporating electronic health records, artificial intelligence, machine learning, pharmacogenomic approaches, and patient-centered monitoring frameworks.

The findings emphasize that individualized therapeutic evaluation, multidisciplinary collaboration, and active involvement of clinical pharmacologists and pharmacists are essential for optimizing addiction pharmacotherapy. Effective safety monitoring strategies contribute to early identification of medication-related risks, prevention of avoidable complications, improved adherence, and enhanced treatment outcomes.

Despite significant progress, challenges remain, including underreporting of adverse reactions, limited long-term safety data, healthcare inequalities, and insufficient integration of advanced digital technologies. Future pharmacovigilance models should focus on predictive, personalized, and proactive safety assessment approaches to improve clinical decision-making and patient protection.

In conclusion, comprehensive pharmacovigilance represents a fundamental component of modern addiction medicine. Strengthening medication safety systems through scientific innovation, evidence-based monitoring, and international collaboration is essential for achieving safer, more effective, and patient-oriented pharmacological treatment strategies for substance use disorders.

The findings indicate a transition from traditional reactive pharmacovigilance toward predictive pharmacovigilance models. Predictive systems aim to identify individuals at increased risk of adverse outcomes before clinical complications occur by integrating pharmacological, genetic, clinical, and behavioral information.

This emerging approach represents a major advancement in addiction medicine because it supports early intervention and personalized treatment modification. Predictive pharmacovigilance may enable healthcare professionals to select safer therapeutic options, adjust treatment intensity, and implement preventive strategies according to individual risk profiles.

Future development of predictive models will require high-quality datasets, interdisciplinary research, transparent analytical methods, and rigorous clinical validation. Successful implementation has the potential to transform addiction treatment from a generalized medication approach into a highly individualized safety-oriented therapeutic system.

The comprehensive findings demonstrate that pharmacovigilance and medication safety assessment are indispensable foundations of modern addiction treatment. Pharmacological therapies for substance use disorders provide significant clinical benefits, but their optimal utilization requires continuous evaluation of adverse effects, therapeutic responses, patient-specific factors, and emerging safety information.

The future advancement of addiction pharmacotherapy depends on integrating clinical pharmacology, regulatory science, evidence-based medicine, digital innovation, and patient-centered care. Strengthened pharmacovigilance systems will enable healthcare professionals to maximize therapeutic benefits, minimize medication-related risks, and develop safer, more effective, and sustainable approaches for managing addiction disorders worldwide.

CONCLUSION

- Pharmacovigilance and comprehensive safety assessment represent essential scientific foundations for ensuring the safe, effective, and rational utilization of pharmacological medications in addiction treatment. The increasing global burden of substance use disorders, combined with the growing complexity of pharmacotherapeutic interventions, highlights the necessity of advanced medication safety systems capable of continuously evaluating therapeutic benefits, identifying potential risks, and supporting evidence-based clinical decision-making. Modern addiction medicine requires a balanced approach in which treatment effectiveness and patient safety are considered interconnected rather than independent objectives.
- The findings of this scientific discourse demonstrate that medications used for addiction treatment provide substantial clinical benefits, including reduction of substance-related harms, prevention of relapse, improvement of treatment retention, reduction of overdose mortality, and enhancement of patient quality of life. However, these therapeutic advantages must be accompanied by systematic monitoring of adverse drug reactions, drug–drug interactions, long-term safety outcomes, medication adherence, and individual patient risk factors. Comprehensive pharmacovigilance frameworks are therefore critical for optimizing the benefit–risk relationship of addiction pharmacotherapy throughout the entire medication lifecycle.
- The analysis confirms that traditional safety monitoring approaches based solely on clinical trials and spontaneous adverse event reporting are insufficient for addressing the complex realities of addiction treatment. The integration of real-world evidence, electronic health records,

clinical registries, patient-reported outcomes, pharmacogenomic information, and advanced analytical technologies provides a more complete understanding of medication safety in diverse patient populations. These innovative approaches enable earlier detection of safety signals, improved risk prediction, and more personalized therapeutic strategies.

- Clinical evaluation and therapeutic monitoring remain central components of safe addiction pharmacotherapy. Individualized assessment of patient characteristics, comorbid conditions, psychiatric status, concomitant medications, and treatment response allows healthcare professionals to reduce preventable medication-related complications. The contribution of clinical pharmacologists and pharmacists is particularly important in this process through medication review, adverse reaction identification, interaction assessment, patient education, and promotion of rational pharmacological management.
- The results emphasize that effective pharmacovigilance requires multidisciplinary collaboration involving physicians, pharmacists, nurses, psychiatrists, regulatory authorities, researchers, and public health specialists. Such cooperation strengthens medication safety systems, improves communication among healthcare providers, and facilitates coordinated management of therapeutic risks. Furthermore, patient involvement in safety monitoring and shared decision-making contributes to improved adherence, greater treatment acceptance, and more patient-centered addiction care.
- Despite significant advances, important challenges remain, including underreporting of adverse drug reactions, limited long-term safety data, variability in international monitoring systems, insufficient integration of digital technologies, and barriers related to stigma and healthcare inequality. Addressing these challenges requires strengthening global pharmacovigilance networks, improving professional education, expanding research capacity, and establishing harmonized safety assessment strategies.
- Emerging technologies, particularly artificial intelligence, machine learning, digital health platforms, and precision medicine approaches, offer promising opportunities for transforming addiction medication safety assessment. Predictive pharmacovigilance models may enable earlier identification of vulnerable patients, optimization of therapeutic choices, and prevention of adverse outcomes before they occur. However, successful implementation requires ethical data management, clinical validation, transparency, and integration with professional medical judgment.
- The pharmacovigilance should be recognized as a dynamic and comprehensive scientific discipline that plays a fundamental role in advancing addiction treatment. Continuous safety evaluation, evidence-based risk management, individualized therapeutic monitoring, and technological innovation are essential for achieving safer and more effective pharmacological interventions. Strengthening medication safety frameworks will contribute to improved clinical outcomes, reduced treatment-related harm, and the development of sustainable, patient-oriented approaches for managing substance use disorders in modern healthcare systems.

RECOMMENDATIONS

- Strengthen global pharmacovigilance systems for addiction medications through improved adverse drug reaction reporting, active surveillance programs, and integration of real-world evidence platforms.
- Develop standardized international guidelines for safety assessment, risk management, and therapeutic monitoring of pharmacological treatments used in substance use disorders.
- Promote multidisciplinary collaboration among physicians, clinical pharmacologists, pharmacists, psychiatrists, nurses, researchers, and regulatory authorities to improve medication safety outcomes.
- Expand the role of clinical pharmacists in addiction care through medication therapy management, interaction assessment, patient counseling, and pharmacovigilance activities.

- Implement advanced digital pharmacovigilance technologies, including artificial intelligence, machine learning, electronic health records, and predictive analytics, to improve early detection of medication-related risks.
- Encourage pharmacogenomic research to support personalized addiction pharmacotherapy and identify patients at increased risk of adverse drug reactions.
- Improve healthcare professional education and continuous training in addiction pharmacology, adverse drug reaction recognition, and evidence-based medication safety practices.
- Increase patient participation in pharmacovigilance programs by promoting education, transparent communication, and active reporting of medication-related experiences.
- Establish long-term safety monitoring programs to evaluate the effectiveness and risks of addiction medications beyond clinical trial periods.
- Strengthen regulatory cooperation and international data-sharing mechanisms to enhance global medication safety and improve addiction treatment outcomes.

REFERENCES

176. Anton RF, Latham PK, Voronin KE, Book SW, Hoffman M, Prisciandaro JJ, et al. Efficacy of medications for alcohol use disorder and implications for clinical practice. Alcohol Clin Exp Res. 2020;44(8):1619-1635.
177. McDonagh MS, Holmes R, Kanter C. Interventions for smoking cessation and prevention of relapse. Ann Intern Med. 2021;174(3):379-389.
178. Cahill K, Lindson-Hawley N, Thomas KH, Fanshawe TR, Lancaster T. Nicotine receptor partial agonists for smoking cessation. Cochrane Database Syst Rev. 2020;5:CD006103.
179. Hartmann-Boyce J, Begh R, Aveyard P. Electronic cigarettes for smoking cessation and reduction. Cochrane Database Syst Rev. 2022;11:CD010216.
180. West R, Brown J. Smoking cessation guidelines: evidence-based approaches and pharmacological interventions. Addiction. 2020;115(1):3-12.
181. Batra A, Frazer K, Addington J. Pharmacological strategies for nicotine dependence treatment: safety and effectiveness considerations. Curr Opin Psychiatry. 2021;34(3):250-257.
182. Wiffen PJ, Derry S, Moore RA. Opioid analgesics and risks of dependence, misuse, and adverse effects. Cochrane Database Syst Rev. 2020;10:CD012508.
183. Hser YI, Evans E, Huang D, Weiss RE, Saxon AJ, Carroll KM, et al. Long-term outcomes after medication-assisted treatment for opioid use disorder. Drug Alcohol Depend. 2021;218:108411.
184. Volkow ND, Jones EB, Einstein EB, Wargo EM. Prevention and treatment of opioid misuse and addiction: a review. N Engl J Med. 2021;385:240-250.
185. Larochelle MR, Bernson D, Land T, Stopka TJ, Wang N, Xuan Z, et al. Medication treatment for opioid use disorder after nonfatal opioid overdose and association with mortality. Ann Intern Med. 2020;169(3):137-145.
186. Schuckit MA. Treatment of opioid and alcohol dependence: pharmacological and behavioral approaches. N Engl J Med. 2020;383:234-245.
187. Hauser W, Bock F, Engeser P, Tölle T, Willweber-Strumpfe A. Long-term safety monitoring of medications affecting the central nervous system. Clin Drug Investig. 2021;41(5):401-414.
188. Pani PP, Trogu E, Pacini M, Maremmani I. Anticonvulsants for alcohol dependence: clinical evidence and safety considerations. Cochrane Database Syst Rev. 2018;2:CD001857.
189. Nunes EV, Gordon M, Friedmann PD. Relapse prevention and medication management in addiction treatment. Psychiatr Clin North Am. 2020;43(4):697-713.
190. Mann K, Aubin HJ, Witkiewitz K. Reduced drinking as a treatment outcome in alcohol use disorder: clinical and pharmacological perspectives. Alcohol Alcohol. 2021;56(5):545-553.
191. Lembke A, Papac J, Humphreys K. Our other prescription drug problem: the relationship between opioid prescribing and opioid use disorder. N Engl J Med. 2020;382:1171-1173.
192. Bohnert ASB, Guy GP Jr, Losby JL. Opioid prescribing in the United States before and after the Centers for Disease Control and Prevention guideline. Ann Intern Med. 2020;169(6):367-375.
193. Humphreys K, Shover CL, Andrews CM, Bohnert ASB, Brandeau ML, Caulkins JP, et al. Responding to the opioid crisis in North America and beyond: recommendations for public health policy. Lancet. 2022;399(10324):555-570.
194. Haffajee RL, Mello MM. Drug companies' liability for the opioid epidemic. N Engl J Med. 2021;379:2301-2305.
195. Larney S, Peacock A, Mathers BM, Hickman M, Degenhardt L. A systematic review of injecting-related injury and disease among people who inject drugs. Addiction. 2020;115(8):1421-1435.

196. Degenhardt L, Grebely J, Stone J, Hickman M, Vickerman P, Marshall BDL, et al. Global patterns of opioid use and dependence: implications for treatment and prevention. Lancet. 2021;397(10280):2347-2360.
197. Klimas J, Gorfinkel L, Giacomuzzi SM, Fairbairn N, Amato L, Ahamad K. Strategies to improve retention in opioid agonist treatment. Lancet Psychiatry. 2021;8(6):477-489.
198. Nielsen S, Larance B, Degenhardt L. Opioid agonist treatment and medication safety: current challenges and future directions. Drug Alcohol Rev. 2020;39(6):633-642.
199. Bruneau J, Ahamad K, Goyer ME, Poulin G, Selby P, Fischer B, et al. Management of opioid use disorders: a national clinical practice guideline. CMAJ. 2019;191(9):E247-E257.
200. Wakeman SE, Regan S, Nguyen T, Clark JA, Martin M, Lynch M, et al. Association of coprescribing of opioid and benzodiazepine medications with overdose risk. JAMA Netw Open. 2020;3(5):e204652.
201. Jones CM, McCance-Katz EF. Co-occurring substance use and mental disorders among adults with opioid use disorder. Am J Prev Med. 2021;60(4):e199-e207.
202. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of key issue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. In: Proceedings of the Second International Scientific-Practical Conference “Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges”; 2026 Feb 21-22; Tallinn, Estonia. Tallinn: Conference Proceedings; 2026. p. 70-72.
203. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The key issue features of rational pharmacotherapy as a key determinant of safe and effective pharmaceutical provision: implications for population health enhancement. In: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference “Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects”; 2026 Apr 30; Kharkiv, Ukraine. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026. p. 95-114.
204. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The strategic role of clinical pharmacists in optimizing patient care, medication safety, and advancing healthcare outcomes: an evidence-based perspective. In: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference “Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects”; 2026 Apr 30; Kharkiv, Ukraine. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026. p. 202-221.
205. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance. Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2026.
206. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Gamkrelidze N, Kravchenko V, et al. A comprehensive scientific review of the impact of SARS-CoV-2 on behavioral, psychosocial, neurobiological, sociocultural, clinical, public health, economic, cognitive, functional, and treatment-related dynamics in opioid-dependent patients under methadone maintenance therapy. In: Proceedings Book of the 12th International Paris Congress on Social Sciences & Humanities; 2025 Aug 4-8; Paris, France. Paris: Liberty Academic Publishers; 2025. p. 749-776.
207. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan AA, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of key issue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. In: Proceedings of the Second International Scientific-Practical Conference “Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges”; 2026 Feb 21-22; Tallinn, Estonia. Tallinn: Conference Proceedings; 2026. p. 70-72.
208. McHugh RK, Votaw VR, Sugarman DE, Greenfield SF. Sex and gender differences in substance use disorders. Psychiatr Clin North Am. 2020;43(1):1-16.
209. Bagley SM, Ventura AS, Fiellin DA. Opioid use disorder treatment in primary care: safety, monitoring, and implementation challenges. Med Clin North Am. 2020;104(4):693-708.
210. Winhusen T, Lewis D, Adinoff B, Brigham G, Kropp F, Donovan DM, et al. Safety and effectiveness of medications for substance use disorders: evidence from clinical trials. Addict Sci Clin Pract. 2020;15:36.
211. World Health Organization. Global status report on alcohol and health and treatment of substance use disorders. Geneva: World Health Organization; 2024.
212. United Nations Office on Drugs and Crime. World Drug Report 2024. Vienna: United Nations Office on Drugs and Crime; 2024.
213. Soyka M. Treatment of opioid and alcohol dependence: pharmacological principles and clinical applications. Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci. 2021;271(4):661-674.
214. Nielsen S, Larance B, Degenhardt L. Pharmacotherapy for opioid dependence: safety assessment and clinical outcomes. Expert Opin Drug Saf. 2021;20(7):793-805.
215. Huhn AS, Hobelmann JG, Strickland JC. Differences in opioid overdose risk and treatment response among patient populations. Neuropharmacology. 2021;190:108543.

216. Schulte B, Hser YI, Ponicki W, Lapham GT, Krawczyk N. Substance use disorder treatment and pharmacovigilance: integrating clinical and public health perspectives. Addiction. 2022;117(5):1248-1260.
217. Fiellin DA, Schottenfeld RS. Pharmacological treatment of substance use disorders: current evidence and future approaches. Clin Pharmacol Ther. 2021;109(4):935-946.
218. Johnson BA. Medication treatment of alcohol use disorder: safety, efficacy, and emerging therapies. CNS Drugs. 2021;35(1):1-15.
219. Witkiewitz K, Litten RZ, Leggio L. Advances in the science and treatment of alcohol use disorder. Sci Adv. 2020;6(28):eabc2500.
220. Koob GF. Drug addiction: hyperkatifeia and negative reinforcement mechanisms. Psychopharmacology. 2021;238(4):1001-1012.
221. World Health Organization. Neuroscience of psychoactive substance use and dependence. Geneva: World Health Organization; 2019.
222. Everitt BJ, Robbins TW. Neural systems of reinforcement for drug addiction: from actions to habits. Nat Neurosci. 2020;23(12):1434-1444.
223. Goldstein RZ, Volkow ND. Drug addiction and its underlying neurobiological basis: neuroimaging and clinical implications. Mol Psychiatry. 2020;25(4):691-702.
224. Rehm J, Manthey J, Shield KD, Ferreira-Borges C. Alcohol use disorders and treatment gaps: global challenges for healthcare systems. Lancet Public Health. 2021;6(5):e330-e339.
225. Connor JP, Haber PS, Hall WD. Alcohol use disorders and pharmacological treatment approaches: current evidence and future directions. Lancet. 2021;398(10298):1735-1749.
226. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Mechanisms of pharmacological action of ecstasy substances, consequences of episodic and chronic use and expected complications. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2020;4(Suppl 6):66-69.
227. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Ecstasy is not happiness, it's a way out to nowhere. Consequences and complications of ecstasy consumption. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2020;9:145-155.
228. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. The key aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. PIRETC Journal of Social Research & Behavioral Sciences. 2023;29(6):11-34.
229. Gabunia L, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, et al. The key issue aspects related to features of effects of using psychostimulant substances. Hagia Sophia - 8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:521-534.
230. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. The scientific review talks of manifestation of key issue features of characteristics of the effects of SARS-CoV-2 on behavioral and psychosocial parameters of opioid-dependent patients on methadone replacement therapy in general. International Congress on Health Sciences, Occupational Health and Safety. 2025:474-475.
231. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. A comprehensive scientific review of the impact of SARS-CoV-2 on behavioral, psychosocial, neurobiological, sociocultural, clinical, public health, economic, cognitive, functional, and treatment-related dynamics in opioid-dependent patients under methadone maintenance therapy. 12th International Paris Congress on Social Sciences & Humanities. 2025:749-776.
232. Oluwole Olawale O, Kezeli T, Nikoleishvili E, Sulashvili N. Adverse drug reaction. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(Suppl 3):42-44.
233. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Chichoyan N, Giorgobiani M, et al. The scientific talks of essential issue, invocation, perspectives, inclinations and features of the clinical pharmacists globally. Experimental and Clinical Medicine. 2022;7:55-63.
234. Sulashvili N, Gorgaslidze N. The scientific discussion of modern pharmacy problems, achievements and improvement of the features of clinical pharmacists' and pharmaceutical administration challenges in Georgia in general. Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement. 2023:20-27.
235. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L. The scientific talks of the peculiarities of achievements and perspectives of clinical pharmacists' occupation and pharmaceutical regulations issue applications in pharmaceutics and health care in Georgia and globally. Chemistry - Achievements and Perspectives. 2023:156-157.
236. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N. The scientific talks of the features of the clinical pharmacists perspectives along pharmacotherapy. GBMN. 2023;1(2):64-67.
237. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Boglaryan M. The scientific debates of peculiarities of problems, perspectives and role of the clinical pharmacists worldwide in general in the XXI century. Social Pharmacy: State, Problems and Prospects. 2021:284-317.

238. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M. The scientific debates of peculiarities of problems, perspectives and role of the clinical pharmacists worldwide in general in the XXI century. Technological and Biopharmaceutical Aspects of Drugs Developing with Different Orientation of Action. 2021:195-216.
239. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Jojua K, Phkakadze I, Alavidze N, et al. Scientific talks of the features of the pharmacist' profession, essential role, achievements, problems, aspects and higher pharmaceutical educational advancement issue perspectives in the context of patients safety locally and globally in XXI century. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2021;11:37-68.
240. Ahuja V, Mayane S, Khan M, Choudhary A, Bankar A, Manoharan Sheeja A, et al. The peculiarities of safety of COVID-19 vaccines and its adverse effects prospects, challenges and opportunities in general. Innovations in Medical Education. 2022:14-37.
241. Sulashvili N, Egnatievi I, Danelia E, Gogaladze N, Machavariani G, Mikeladze T, et al. The scientific review of the special features of COVID-19 vaccines and their toxicities perspectives in general in the context of prevention of COVID-19 infection disease globally. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2022:32-37.
242. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M. The key issue aspects of features of age-related use of medicines, side effects of drugs and pharmacoeconomic aspects in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:43-64.
243. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Alavidze N. The manifestation of key issue aspects the peculiarities and inclinations of clinical pharmaceutical services capabilities belonging to of announcement on prospects of pharmaceutical care challenges in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:92-112.
244. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. Study of hepatoprotective activity of grape seed polyphenol extracts in a model of acute paracetamol-induced hepatitis. PIRETC Journal of Social Research & Behavioral Sciences. 2023;29(6):4-10.
245. Sulashvili N, Robakidze K, Chakhnashvili K, Buchukuri I, Beglaryan M, Grigolia L, et al. Manifestation of modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement use of rational antibiotic pharmacotherapy of some antibiotics' and antibiotic resistance in microbes of bacterial diseases of the mucous membranes and skin. Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement. 2023:28-33.
246. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Chakhnashvili K, Okropiridze T, et al. The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges. 2023:15-16.
247. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Beglaryan M. The manifestation of key issue aspects of features of modern problems of pharmacotherapy of human diseases in general. Medicines for Humans. 2024:30-36.
248. Sulashvili N, Aphkhazava D. The scientific discussion of characteristics of assessing the health risks of electronic cigarettes in general. Hagia Sophia - 8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:545-557.
249. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Kravchenko V, Giorogobiani M, et al. Manifestation of some key issue aspects of features of medicines turnover and its influence on environment and medical-ecological safety challenges globally. Experimental and Clinical Medicine. 2024;4:130-133.
250. Sulashvili N, Gabunia L, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Sulashvili M, Patsia L, et al. The peculiarities of pharmacodynamics and pharmacokinetics of some antiarrhythmic medicines. International European Congress on Scientific Research. 2024:64-65.
251. Gabunia L, Ghambashidze K, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, et al. The scientific talks of manifestation of topical issues of characteristics of cognitive-enhancing stimulant drugs according the safety of pharmacotherapy and pharmacovigilance system in general. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:101-121.
252. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Kivzhinadze N, Alavidze N, et al. Scientific discourse of elevating the role of pharmacists: a global and Georgian perspectives on clinical responsibilities, professional enhancement, job contentment and healthcare impact. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:347-373.
253. Sulashvili N, Davitashvili M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Giorgobiani M, et al. The scientific discussion of key issue aspects of lead overindulgence, biomonitoring obstacles and environmental protection impediments. Achievements & Challenges in Biology. 2024:131-151.
254. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Alavidze N, Abuladze N, et al. The scientific discourse of key issue aspects of features of Candida problems, antifungal drugs resistance concerns, mycotoxicology issues, mycoecology, biosafety risks and emerging solutions. Modern Scientific Method. 2025:136-165.

255. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, Abuladze N, et al. The manifestation of key issue aspects of role of the pharmacist in ensuring the rational use of medicines and pharmacotherapy in general. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2025:54-56.
256. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M, Patsia L, Lomia E. The scientific talks of key issue features of pharmaceutical contaminants role on ecological disasters, environmental pollution and public health: risks, prevention and safety concepts, consequences, mitigation strategies and solutions in general. International Congress on Contemporary Scientific Research. 2025:1121-1158.
257. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The scientific discussion of key issue aspects of immunopathogenesis and pharmacological properties and profiles in relation to adverse drug reactions challenges, focus on multidimensional drug-induced eosinophilia and systemic syndrome. Georgian Scientists. 2025;7(3):141-179.
258. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The manifestation of pharmacogenetic and clinical perspectives on medication-associated eosinophilia and systemic symptoms (DRESS): a comprehensive evaluation of implicated agents, risk factors, and treatment managements strategies in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):180-216.
259. Sulashvili N, Jadhav RD, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The scientific talks of comprehensive analysis of pharmacogenetic and patient-centered care approaches on medication-induced adverse effects and toxicities, pharmacovigilance challenges, implicated drugs, underlying determinants of risk, and strategic approaches to pharmacotherapeutic management. Georgian Scientists. 2025;7(3):217-262.
260. Gorgadze G, Bendeliani B, Varazi G, Gabunia L, Sulashvili N, Ghambashidze K, et al. Critical considerations regarding the unique pharmacodynamic properties of the drug 'Phenomenon' and its impact on hepatic structure in experimental CCl4-induced cirrhosis. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2025:15-20.
261. Sulashvili N, Gorgaslidze N. Investigating the deep environmental impact of medication waste, their effects on natural systems: public health threats, intricate relationships, risk analysis, holistic solutions, and the need for advanced hazard assessment. International Conference on Medical & Health Sciences. 2025:548-591.
262. Chirakadze A, Mitagvaria N, Dvali N, Buachidze Z, Devdariani M, Davlianidze L, et al. Microwave synthesis, characterization and testing of acute toxicity of boron nitride nanoparticles by monitoring of behavioral and physiological parameters. European Research Materials. 2025:35-74.
263. Chirakadze A, Mitagvaria N, Dvali N, Buachidze Z, Makhviladze N, Razmadze M, et al. The new trends in enhancing efficacy and safety of proton therapy: in vitro cytotoxicity study. European Research Materials. 2025:75-110.
264. Sulashvili N, Gabunia L, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Giorgobiani M, Kvizhinadze N, et al. Aspects of the features of challenges of antifungal resistance, issues of mycotoxicology, mycoecology and problems of biological safety in general. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:52-55.
265. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Ratiani L, Khetsuriani S, Kravchenko V, et al. The features of advances and challenges in COVID-19 vaccine development, efficacy, safety, and global deployment in general. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:55-58.
266. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Topchiyeva S, Gamkrelidze N, Kravchenko V, et al. A comprehensive review of health hazards, toxicological risks, and regulatory gaps in cosmetic and personal care products. Experimental and Clinical Medicine. 2025;4:62-65.
267. Okropiridze T, Sulashvili N, Jgerenaya M, Aphkhazava D, Sulashvili M. The manifestation of key issue features on identifying latent threats: a comprehensive examination of health concerns in artificial cosmetic and personal care substances. Modern Trends Aimed at Preserving Human Health. 2026:307-332.
268. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The scientific discourse of an analytical overview of the features and role of clinical pharmacologists in evidence-based healthcare. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:95-114.
269. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The key issue features of rational pharmacotherapy as a key determinant of safe and effective pharmaceutical provision: implications for population health enhancement. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:138-156.
270. Sulashvili N, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, Sulashvili M. The strategic role of clinical pharmacists in optimizing patient care, medication safety, and advancing healthcare outcomes: an evidence-based perspective. Social Pharmacy: Status, Problems and Prospects. 2026:202-221.
271. Sulashvili N, Alavidze N, Imerlishvili I, Buleishvili M, Shapoval O, Sulashvili M. Emerging challenges in rational pharmacotherapy for pediatric patients: evidence-based strategies, drug safety, dosing accuracy, clinical effectiveness and personalized treatment approaches. International Multi-Disciplinary Children's Studies Congress. 2026:258-281.

272. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. The scientific discourse on key issues concerning the modern challenges of pharmacovigilance and pharmacosafety in the complex global landscape of the twenty-first century. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2026;9(5):40-70.
273. Sulashvili N, Beglaryan M, Buleishvili M, Darbaidze M, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The scientific discourse on pharmacology, mechanisms of action, pharmacological safety, side effects, and toxicity of anticancer medications in modern oncology: pharmacovigilance and integrated approaches to evidence-based pharmacotherapy, pharmacogenomics, personalized medicine, and therapeutic drug monitoring strategies. World Scientific Reports. 2026:15-58.
274. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Pkhakadze I, Gabisonia G, Sulashvili M, et al. The scientific discourse on the contemporary pharmacotherapeutic armamentarium of Duchenne muscular dystrophy: an integrative analysis of the pharmacological classification of therapeutic agents, molecular pharmacology, pharmacodynamic and pharmacokinetic determinants, adverse drug reactions, toxicological profiles and comprehensive pharmacosafety considerations. Foundations and Trends in Research. 2026:148-209.
275. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez De Jauregui D, Alavidze N, Sulashvili M, Gorgaslidze N, et al. The scientific discourse on reconfiguring the pharmacological frontier of general anesthesia: contemporary advances in anesthetic pharmacology, mechanistic insights, precision perioperative pharmacotherapy, pharmacosafety, intravenous and inhalational anesthetic agents, pharmacokinetic–pharmacodynamic interactions, multimodal therapeutic strategies, adverse-effect mitigation, and patient-centered clinical optimization. European Research Materials. 2026:149-214.
276. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Buleishvili M, Darbaidze M, Alavidze N, et al. The scientific discourse on the advancement of drug safety, pharmacovigilance, pharmacology, and pharmacotherapeutic outcomes: a multiscalar integration of molecular and clinical pharmacology, adverse drug reaction surveillance, causal inference, pharmacoepidemiological risk stratification, evidence-based safety, therapeutic benefit–risk optimization, medication-harm mitigation, and population health protection. Progress in Science. 2026:59-125.
277. Sulashvili N, Buleishvili M, Patsia L, Tadevosyan A, Imerlishvili I, Kravchenko V, et al. The key issue features of biological and synthetic nanocarriers in modern therapeutics: comparative mechanisms, translational challenges, clinical perspectives, future innovations, regulatory frameworks, and personalized medicine strategies. International Mardin Scientific Research and Innovation Congress. 2026:222-248.
278. Sulashvili N, Egnatievi I, Tadevosyan A, Kravchenko V, Shapoval O, Sulashvili M, et al. Advanced pharmacological perspectives on antiarrhythmic drug therapy: ion channel modulation, pharmacokinetic variability, metabolic regulation, therapeutic monitoring, and clinical safety considerations. International Kültepe Scientific Research and Innovation Congress. 2026:152-182.
279. Sulashvili N, Alavidze N, Buleishvili M, Kravchenko V, Shapoval O, Seniuk I, et al. Comprehensive scientific discussion of anti-HIV drugs: pharmacological features, molecular mechanisms, resistance patterns, therapeutic optimization strategies, safety profiles, side effects, toxicities and patient-centered care approaches. International Edessa Scientific Studies Congress. 2026:627-657.
280. Sulashvili N, Alavidze N, Egnatievi I, Giorgobiani M, Petriashvili E, Tsiklauri M, et al. Ecopharmacovigilance in focus: advanced multidimensional systematically and comprehensively integrated global risk-based evaluation of the environmental and public health impact of pharmaceutical contaminants. International Cahit Arf Scientific Research and Innovation Congress. 2026:186-224.
281. Oluwole Olawale O, Kezeli T, Nikoleishvili E, Sulashvili N. Adverse drug reaction. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(Suppl 3):42-44.
282. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Mechanisms of pharmacological action of ecstasy substances, consequences of episodic and chronic use and expected complications. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2020;4(Suppl 6):66-69.
283. Gabunia L, Vadachkoria D, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, Sulashvili N. Ecstasy is not happiness, it's a way out to nowhere. Consequences and complications of ecstasy consumption. Bulletin of the Medical Institute After Mehrabyan. 2020;9:145-155.
284. Sulashvili N, Kvikhinadze N, Alavidze N, Okropiridze T. The manifestation of features for ensuring approach of opioid replacement therapy in general. Current Issues of Pharmacology, Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2022:101-118.
285. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M. The manifestation of specificities and pharmacological effects of methodone replacement therapy in opioid-dependent patients globally. Antiepileptic Drugs: From Molecular Design to Clinical Application. 2022:123-136.

286. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Giorgobiani M. Main assessment issues of the features of the pharmaceutical safety complex questions reflect on pharmaceutical organizations in Georgia. International Multidisciplinary School - Conference in Medical and Healthcare Sciences. 2022:61-74.
287. Sulashvili N, Abuladze N, Beglaryan M, Cheishvili J, Tadevosyan A, Sulashvili M. The manifestation of features of opioids and narcotics using by drug addicted people and the role of replacement pharma-otherapy in treatment and recovery of the patient. Science Rise: Biological Science. 2023;1(34):19-30.
288. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Ratiani L, Gabunia L, Seniuk I. The key aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. The Tenth International Scientific-Practical Conference "In Modern Medicine and Health: Prognosis, Achievement and Challenges". 2023:11-12.
289. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Beglaryan M. The key issue aspects of features of age-related use of medicines, side effects of drugs and pharmacoeconomic aspects in general. Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology. 2023:43-64.
290. Sulashvili N, Abuladze N, Beglaryan M, Sulashvili M. The manifestation of pharmacological management of modern aspects of achievements of the peculiarities of features of opioids of the peculiarities of drug replacement therapy for addiction people in evidence based medicine. Modern Aspects of Achievement Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science. 2023:289-309.
291. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Topchiyeva S. The scientific discussion of key issues factors of characteristics of medication toxicities differences based according gender, pregnancy and age, and pharmacotherapy risk factors influence features in general. Theoretical Hypotheses and Empirical Results. 2023:13-33.
292. Gorgaslidze N, Topchiyeva S, Sulashvili N. The manifestation of peculiarities, side effects and toxicities of drugs and their summons features in clinical application at different ages. Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges. 2023:21.
293. Sulashvili N, Beglaryan M, Kivzhinadze N, Alavidze N, Abuladze N, Gabunia K, et al. The scientific discussion of manifestation of modern achievements of characteristics, pharmacotherapeutic action, clinical use and adverse effects of cisplatin. Modern Achievements of Experimental, Clinical, Environmental Biochemistry and Molecular Biology. 2024:73-112.
294. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L. The manifestation of some features of rational pharmacotherapy, drug safety, age and side effects. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2024:35-40.
295. Sulashvili N, Gabunia L, Gorgaslidze N, Okropidze T, Abuladze N, Sulashvili M. The manifestation of features of some side effects of antifungal drugs in general. Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine. 2024:52-56.
296. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Gabunia L, Giorgobiani M, Sulashvili M. The manifestation of key issue aspects of features of influence of medications on the living organisms, including humans and their physical environment. The Second International Scientific-Practical Conference in Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2024:29-30.
297. Gorgaslidze N, Sulashvili N. The scientific discussion of peculiarities of various ages pharmacotherapy-features of treatment in different ages, side effects of medicines and its pharmacoeonomic characterizations aspect. Management and Marketing in the Modern Economy, Science, Education and Practice. 2024:15-35.
298. Alavidze N, Sulashvili N, Gorgaslidze N. The scientific talks of pharmacotherapy health issues, education, theory and practice in the context of drugs side effects in general. Formation of the National Medical Policy under the Conditions of the Implementation of Medical Health Insurance: Issues of Education, Theory and Practice. 2024:139-167.
299. Gabunia L, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Rukhadze L, et al. The key issue aspects related to features of effects of using psychostimulant substances. Hagia Sophia -8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:521-534.
300. Sulashvili N, Aphkhazava D. The scientific discussion of characteristics of assessing the health risks of electronic cigarettes in general. Hagia Sophia -8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies. 2024:545-557.
301. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. The manifestation of key issue aspects of the effect of alcohol consumption on dental health and pharmacotherapy challenges in general. Training of Pharmacy Specialists within the Framework of the Concept of "Life Long Learning": Science, Education, Practice. 2024:114-127.
302. Gabunia L, Ghambashidze K, Ratiani L, Gorgaslidze N, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, et al. The scientific talks of manifestation of topical issues of characteristics of cognitive-enhancing stimulant drugs according the safety of pharmacotherapy and pharmacovigilance system in general. Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy. 2024:101-121.

303. Aphkhazava D, Sulashvili N, Ramdas K. The scientific talks of a comprehensive review of manifestation of features of assessing the health risks of electronic cigarettes. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2025:13.
304. Giorgobiani L, Todadze K, Sulashvili N, Zedgenidze I, Giorgobiani M. The scientific review talks of manifestation of key issue features of characteristics of the effects of SARS-CoV-2 on behavioral and psychosocial parameters of opioid-dependent patients on methadone replacement therapy in general. International Congress on Health Sciences, Occupational Health and Safety. 2025:474-475.
305. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Abuladze N, et al. A thorough analysis of scientific discussions on core elements in evaluating the health hazards of e-cigarettes and public health challenges. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2025:100-106.
306. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yaduvanshi N, Yadav M, Abzianidze E, Chichoyan N, et al. The manifestation of scientific discussion on new antiretroviral medicines: a comprehensive analysis of classification, clinical use, features, mechanisms, pharmacology and toxicities in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):522-569.
307. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yaduvanshi N, Yadav M, Abzianidze E, Chichoyan N, et al. The manifestation of scientific aspects of classification, clinical use, features, mechanism of action, pharmacology, effects and toxicities of new anticancer drugs in general. Georgian Scientists. 2025;7(3):570-611.
308. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. The manifestation of comprehensive discourse of antibody–drug conjugates: molecular mechanisms, immune interactions, clinical efficacy, toxicity, and emerging therapeutic strategies. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2025;7(4):41-66.
309. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. A comprehensive global analysis of iatrogenesis: mechanisms, clinical implications, preventive strategies, multidisciplinary approaches and healthcare system challenges across diverse medical settings. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2026;8(5):118-155.
310. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan A, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The key issue aspects of iatrogenesis in global healthcare: mechanistic insights, clinical impacts, preventive approaches, and multidisciplinary management challenges. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2026:50-52.
311. Sulashvili N, Kravchenko V, Tadevosyan A, Shapoval O, Imerlishvili I, Buleishvili M, et al. The scientific talks of keyissue features of modern perspectives on pharmacovigilance and medication safety in the complexities of twenty-first century health systems. Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges. 2026:70-72.
312. Sulashvili N, Alavidze N, Egnatievi I, Giorgobiani M, Petriashvili E, Tsiklauri M, et al. Ecopharmacovigilance in focus: advanced multidimensional systematically and comprehensively integrated global risk-based evaluation of the environmental and public health impact of pharmaceutical contaminants. International Cahit Arf Scientific Research and Innovation Congress. 2026:186-224.
313. Alavidze N, Javakhia M, Abuladze N, Gabunia K, Sulashvili N, Chubinidze N. Pharmacist-led interventions in the management of polypharmacy: a systematic review of clinical effectiveness, prescribing quality and patient safety outcomes. Georgian Medical Journal. 2026;1(2):1-16.
314. Sulashvili N, Alavidze N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Buleishvili M, Tsintsadze T, et al. The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance frameworks. Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines. 2026:9-31.
315. Sulashvili N, Beglaryan M, Rada Fernandez de Jauregui D, Buleishvili M, Darbaidze M, Alavidze N, et al. The scientific discourse on the advancement of drug safety, pharmacovigilance, pharmacology, and pharmacotherapeutic outcomes: a multiscalar integration of molecular and clinical pharmacology, adverse drug reaction surveillance, causal inference, pharmacoepidemiological risk stratification, evidence-based safety, therapeutic benefit–risk optimization, medication-harm mitigation, and population health protection. Progress in Science. 2026:59-125.
316. Butler M, Ebbitt L, Nunes EV, et al. Adverse events reported to FDA Adverse Event Reporting System for long-acting injectable buprenorphine during the first 18 months postlaunch. J Subst Use Addict Treat. 2026;170:209612. -1
317. Lapeyre-Mestre M, Micallef J, Hacquet R, Jouanjus E. Pharmacovigilance in the field of addiction: challenges and emerging solutions. Expert Rev Clin Pharmacol. 2025;18(12):1123-1137.
318. Regional Trends in the Opioid Epidemic Using Safety Signals of Drug Abuse and Dependence: A Disproportionality Analysis Using VigiBase. Drugs Real World Outcomes. 2026;13(2):245-258.

319. Possible Eye Disorders in Children Prenatally Exposed to Either Methadone or Buprenorphine in Comparison with Other Medications: An Examination of the Food and Drug Administration (FDA) Pharmacovigilance Database. Brain Sci. 2025;15(11):1177. -9
320. Understanding the Opioid Epidemic through Pharmacovigilance Signals: an Analysis of Pharmacovigilance Datasets collecting Adverse Drug Reactions (ADRs) reported to EudraVigilance (EV) and the FDA Adverse Event Reporting System (FAERS) over 10 Years. Drug Saf. 2024;47(12):1289-1303.
321. Gastrointestinal and Liver Adverse Effects of Alcohol Use Disorder Medications: A Pharmacovigilance Analysis. Clin Gastroenterol Hepatol. 2025;23(4):789-798.
322. Mortality during and following treatment with extended-release naltrexone based on data from two clinical trials. Drug Alcohol Depend. 2025;274:112737.
323. EudraVigilance insights: Suspected adverse drug reactions in infants through breastfeeding. Br J Clin Pharmacol. 2025;91(8):2105-2117.
324. Characteristics and completeness of spontaneous reports by reporter's role in Germany: An analysis of the EudraVigilance database using the example of opioid-associated abuse, dependence, or withdrawal. Pharmacoepidemiol Drug Saf. 2023;32(5):567-576.
325. Risk of adverse outcomes during gabapentinoid treatment: a retrospective cohort study using primary care data. Pain. 2026;167(3):589-599.
326. Gabapentinoid Use Disorder in the Neuropathic Pain Unit Setting. Neurology. 2026;102(7):e209345.
327. Pulmonary edema after naloxone administration for opioid reversal: a systematic review of case reports and causality assessment using the Naranjo scale. Clin Toxicol (Phila). 2024;62(5):345-352.
328. Buprenorphine Use and the Risk of Dental Adverse Events in Patients With Opioid Use Disorder. J Dent Res. 2024;103(6):654-662.
329. Cardiovascular safety of fixed-dose extended-release naltrexone/bupropion in clinical practice. Obesity. 2025;33(4):721-730.
330. The need for longer-term treatment with extended-release naltrexone: a 52-week naturalistic clinical study in patients with opioid use disorder. J Neural Transm (Vienna). 2026;133(2):211-222.
331. Metadona: un análisis de los efectos adversos notificados en Francia. Rev Salud Farm. 2025;17(1):45-56.
332. Methadone and QTc interval prolongation in an oncologic population: a retrospective cohort study. Reg Anesth Pain Med. 2026;51(2):112-119.
333. Polymorphic Ventricular Tachycardia and Torsades in Methadone Therapy Captured by Loop Recorder. JACC Case Rep. 2026;28(4):1021-1025.
334. Strategies to Reduce Methadone-Related Medication Events. Ont Coll Pharm J. 2025;82(1):34-39.
335. Using routinely collected data to understand and predict adverse outcomes in opioid agonist treatment: Protocol for the Opioid Agonist Treatment Safety (OATS) Study. BMJ Open. 2024;14(12):e089123.
336. Association Between Prescribed Stimulant Medications and Overdose Among Individuals Receiving Opioid Agonist Therapy: A Retrospective Cohort Study From British Columbia, Canada. J Clin Psychiatry. 2024;85(3):23m15012.
337. Monthly buprenorphine depot injection (SUBLOCADE®) for opioid use disorder during pregnancy: a case series. Am J Obstet Gynecol MFM. 2025;7(4):101289.
338. Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists in Cocaine Use Disorder: Clinical Observations and Underlying Mechanisms. CNS Drugs. 2026;40(7):601-615.
339. Medical Cannabis Use in France: An Observational Safety Study Based on the RECANN Registry and the Pharmacovigilance/Addictovigilance System From 2021 to 2024. Drug Saf. 2025;48(5):489-501.
340. Cannabinoids and Adverse Convulsive Effects: A Pharmacovigilance and Addictovigilance Analysis of Cases Reported in France. Epilepsia. 2025;66(6):1456-1467.
341. The contribution of addictovigilance data to the French medical cannabis experimentation. Therapie. 2024;79(6):701-710.
342. Artificial Intelligence for Opioid Safety Surveillance from Clinical Text: A Clinically Focused Review. J Pain Res. 2024;17:2105-2120.
343. Integrating Advanced Pharmacovigilance Frameworks and Artificial Intelligence in Mitigating Opioid-Related Adverse Events. Zenodo. 2024.
344. Transmucosal fentanyl-related opioid use disorder in a cancer survivor. Therapie. 2024;79(5):609-611.
345. A systematic review of machine learning applications in predicting opioid associated adverse events. J Pain. 2025;26(1):104231.
346. Naloxone is generally administered in the setting of opioid use and many of the AEs described in approved Narcan labeling may be attributable to the reversal of the effects of the opioid. FDA Drug Saf Commun. 2025.
347. Pharmacovigilance monitoring for naloxone in pediatric patients: a periodic safety update. FDA Pediat Advisory Comm. 2025.

348. Rebound toxicity is not an adverse effect directly associated with naloxone use: a review of FDA adverse event reports. J Med Toxicol. 2024;20(4):389-395.
349. BTDS: BUTRANS® - buprenorphine transdermal delivery system: an analysis of spontaneously reported adverse events in the FDA and WHO databases. Expert Opin Drug Saf. 2024;23(10):1289-1298.
350. Buprenorphine extended-release injection: post-authorisation safety study (PASS) monitoring pregnancy outcomes. TGA Aust Adverse Drug React Bull. 2024;43(2):12-15.

THE SCIENTIFIC TALKS ON THE SYSTEMATIC THEORETICAL EXPLORATION OF ACADEMIC FREEDOM, INSTITUTIONAL AUTONOMY, AND INTELLECTUAL SELF-DETERMINATION IN HIGHER EDUCATION: CONCEPTUAL FOUNDATIONS, LEGISLATIVE PROVISIONS, GOVERNANCE STRUCTURES, IMPLEMENTATION MECHANISMS, AND CONTEMPORARY POLICY CONSIDERATIONS WITHIN INTERNATIONAL TERTIARY EDUCATION SYSTEMS—COMPARATIVE ANALYTICAL PERSPECTIVES, REGULATORY APPROACHES, AND INSTITUTIONAL RELEVANCE

Nodar Sulashvili
Lali Patsia
Ketevani Gabunia
Diego Rada Fernandez de Jauregui
Maka Buleishvili
Marika Sulashvili
Natia Kvizhinadze
Ada (Adel) Tadevosyan
Marina Giorgobiani
Nana Mdinaradze
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Igor Seniuk
Rajkaran Singh
Tamar Okropiridze
David Aphkhazava

20. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist, Georgia, Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Scientific Researcher of Yerevan State Medical University After Mk. Heratsi, Yerevan, Republic of Armenia; Former Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

21. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.

22. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;

PhD and BSc in Pharmacy, MSc in Research Methodology in Health Sciences, Professor, Pharmacy Faculty, University of the Basque Country, Spain. https://orcid.org/0000-0002-9109-1088

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473

23. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262

24. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia.

25. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;

26. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227

MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Quality Assurance Department at David Aghmashenebeli National Defence Academy; Invited Lecturer of Department of Human Normal Anatomy at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.

MD, DDM, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Faculty of Medicine at The Caucasus International University; Professor of the International School of Medicine at Alte University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;

27. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331

28. Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0000-4903-0145

MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;

29. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT

Academic freedom, institutional autonomy, and intellectual independence constitute interrelated dimensions of contemporary higher education governance, shaping the conditions under which universities conduct research, disseminate knowledge, develop curricula, and participate in public discourse. Their interpretation and implementation vary across national jurisdictions, institutional structures, regulatory environments, and sociopolitical contexts. This scientific discussion examines the conceptual foundations, legal parameters, organizational characteristics, and policy dimensions of these principles within diverse international higher education systems. Particular attention is directed toward the relationship between individual academic rights and institutional decision-making authority, the allocation of governance responsibilities, the protection of scholarly inquiry, and the regulatory mechanisms through which universities operate within national educational frameworks. Academic freedom encompasses the capacity of academic staff and researchers to pursue scholarly investigations, formulate evidence-based conclusions, communicate research findings, and engage in reasoned intellectual debate without inappropriate interference. Institutional autonomy concerns the extent to which higher education institutions exercise decision-making authority over academic, administrative, organizational, and financial matters. Intellectual independence refers to the capacity to develop, evaluate, and communicate ideas through critical reasoning, methodological rigor, and scholarly judgment. Although these concepts overlap, they are not interchangeable. Their effective implementation requires appropriate institutional safeguards, transparent governance arrangements, proportionate accountability mechanisms, and clearly defined responsibilities. The discussion considers the interaction between constitutional provisions, higher education legislation, institutional statutes, accreditation requirements, public funding arrangements, and internal quality assurance procedures. It also examines the potential influence of government regulation, administrative oversight, financial dependency, managerial decision-making, political pressures, and commercial priorities on academic activities. These factors may create tensions between institutional self-governance and public accountability, particularly where regulatory requirements affect curriculum development, research priorities, staff recruitment, academic appointments, or the communication of controversial findings. A balanced governance framework must therefore distinguish legitimate oversight from unjustified interference while recognizing the responsibilities of universities to maintain academic standards, ethical conduct, financial transparency, and educational quality. Comparative perspectives provide an analytical basis for examining similarities and differences among higher education systems without assuming that a single governance model is universally applicable. National legal traditions, historical developments, funding structures, institutional missions, and cultural expectations influence the practical meaning of academic autonomy and academic freedom. Consequently, comparative evaluation should consider both formal legal guarantees and the organizational conditions required to translate those guarantees into institutional practice. Relevant dimensions include the independence of academic decision-making bodies, participation of faculty members in governance, procedural fairness in employment decisions, protection against discriminatory treatment, institutional transparency, and access to effective mechanisms for resolving academic disputes. Contemporary developments further complicate this governance environment. Digital transformation, international research collaboration, performance-based funding, expanding quality assurance requirements, geopolitical tensions, and the growing use of artificial intelligence introduce additional considerations for academic decision-making. Digital communication can facilitate scholarly exchange while raising questions concerning privacy, intellectual property, data governance, and the responsible dissemination of research. Performance indicators may support institutional evaluation, yet excessive reliance on quantitative measures can narrow research priorities or inadequately represent disciplinary diversity. Similarly, international collaboration can strengthen scientific development while creating additional obligations relating to research integrity, regulatory compliance, and the protection of intellectual contributions. The discussion also addresses the relationship between academic freedom and institutional responsibility. Neither individual scholarly independence nor university autonomy removes the obligation to comply with applicable law, uphold research ethics, protect students and research participants, and maintain

appropriate professional standards. Effective governance therefore requires clearly articulated policies, consistent implementation, accessible review procedures, and safeguards against arbitrary decision-making. Institutional policies should establish transparent criteria for academic appointments, promotion, disciplinary proceedings, curriculum approval, research oversight, and the resolution of disputes. Meaningful faculty participation and proportionate external accountability can contribute to institutional legitimacy while preserving the conditions necessary for independent scholarship. From a policy perspective, sustainable protection of academic freedom and institutional autonomy depends on coherent legislation, adequate and predictable funding, transparent allocation of authority, independent review mechanisms, and regular evaluation of institutional practices. Policymakers and university leaders should assess not only whether formal guarantees exist but also whether academic communities can exercise their rights and responsibilities in practice. Further comparative research may clarify how governance arrangements, regulatory interventions, institutional resources, and organizational cultures relate to academic independence and educational outcomes across different jurisdictions. The scientific discussion establishes an integrated conceptual framework for examining academic freedom, institutional autonomy, and intellectual independence as complementary but distinct components of higher education governance. Its principal contribution lies in connecting normative principles with legal structures, administrative procedures, institutional behavior, and contemporary policy considerations. A systematic and context-sensitive approach can support more transparent governance, responsible institutional decision-making, and the preservation of conditions conducive to rigorous research, critical inquiry, educational development, and international scholarly cooperation. These considerations are relevant to universities, academic staff, researchers, regulatory authorities, educational policymakers, and organizations concerned with the governance and continuing development of higher education in the twenty-first century.

Keywords: **Academic Freedom, Institutional Autonomy, Intellectual Independence, Higher Education Governance, Comparative Education Policy.**

INTRODUCTION

Academic freedom, institutional autonomy, and intellectual independence represent fundamental dimensions of contemporary higher education, influencing the production of knowledge, the development of scientific inquiry, the organization of academic communities, and the relationship between universities and the societies in which they operate. These principles are closely associated with the historical development of universities as institutions dedicated to teaching, research, critical reflection, and the systematic examination of established knowledge. Their significance extends beyond the protection of individual academic activities, encompassing the organizational conditions under which higher education institutions establish priorities, allocate resources, formulate educational programmes, appoint academic personnel, and contribute to scientific, cultural, economic, and social development. In contemporary higher education systems, these dimensions are increasingly examined in relation to legislative frameworks, institutional governance arrangements, public accountability, quality assurance mechanisms, financial sustainability, and international cooperation. Understanding their interaction requires a comprehensive and methodologically balanced examination of the conceptual distinctions, regulatory foundations, organizational practices, and policy considerations that shape academic life across diverse national contexts.

The modern university operates within a complex institutional environment characterized by expanding expectations regarding educational quality, research productivity, social responsibility, professional training, technological innovation, and international competitiveness. Universities are expected to educate qualified professionals, produce reliable scientific knowledge, address emerging societal challenges, maintain ethical standards, and demonstrate the effectiveness of their educational and research activities. At the same time, they must preserve the conditions necessary for independent inquiry, intellectual diversity, evidence-based disagreement, and critical evaluation. These responsibilities may be mutually reinforcing, but they can also generate tensions when regulatory requirements, managerial priorities, financial dependencies, or external political considerations

influence academic decision-making. Consequently, academic freedom and institutional autonomy should not be understood as abstract ideals detached from organizational realities. They are principles whose practical significance depends on the distribution of authority, the quality of governance procedures, the availability of institutional safeguards, and the consistency with which established rules are applied.

Academic freedom generally refers to the protection of scholarly activities, including teaching, research, publication, intellectual debate, and the communication of academically grounded conclusions. Its scope may encompass the freedom of individual researchers to select appropriate research questions, determine suitable methodologies, interpret findings according to disciplinary standards, and disseminate results without unjustified interference. Within educational settings, it also concerns the ability of academic staff to organize teaching in accordance with approved curricula, relevant professional standards, reliable evidence, and the educational needs of students. Academic freedom does not imply immunity from scholarly criticism, professional evaluation, ethical review, or applicable law. Rather, it establishes the conditions under which academic judgments can be developed and assessed through transparent, evidence-based, and professionally appropriate processes. Its effectiveness therefore depends on both formal protection and the existence of institutional cultures that recognize disagreement, encourage methodological rigor, and distinguish legitimate academic evaluation from arbitrary or discriminatory treatment.

Institutional autonomy represents a related but analytically distinct concept. It concerns the capacity of higher education institutions to exercise meaningful authority over their academic, organizational, administrative, financial, and strategic affairs within the applicable legal framework. Depending on the national system and institutional classification, autonomy may include authority over curriculum development, programme design, internal governance, research priorities, recruitment, promotion, resource allocation, organizational structures, and institutional partnerships. The extent of this authority varies considerably across jurisdictions. Some systems provide universities with substantial discretion over internal academic and administrative matters, whereas others maintain more centralized arrangements involving ministries, regulatory agencies, public authorities, or externally appointed governance bodies. Neither institutional independence nor external regulation should be evaluated solely through the presence or absence of state involvement. The relevant question is whether the distribution of responsibilities is transparent, proportionate, legally grounded, and compatible with the legitimate academic functions of the institution.

Intellectual independence provides a further conceptual dimension by emphasizing the capacity of individuals and academic communities to formulate, examine, revise, and communicate ideas through critical reasoning and independent scholarly judgment. It is closely related to academic freedom but also encompasses the epistemic conditions necessary for knowledge development. Intellectual independence requires access to relevant evidence, appropriate research resources, methodological competence, opportunities for reasoned disagreement, and an institutional environment in which conclusions are evaluated according to their evidential and disciplinary merits. It is particularly important when research challenges established interpretations, examines sensitive public issues, or produces findings that conflict with prevailing institutional, political, commercial, or social expectations. The protection of intellectual independence does not require institutions to accept every scholarly claim as equally valid. Instead, it requires that claims be examined through appropriate standards of evidence, logical reasoning, methodological transparency, and professional criticism rather than through unsupported assumptions or the interests of particular authorities.

Although these three concepts overlap, their distinctions are essential for accurate policy analysis. Academic freedom primarily concerns the conditions of scholarly activity and the protection of academic judgment. Institutional autonomy concerns the decision-making capacity and self-governance of higher education organizations. Intellectual independence concerns the development and expression of ideas through critical reasoning and scholarly inquiry. Their relationship is reciprocal rather than identical. A university may possess formal administrative autonomy while individual academics experience restrictions on research, teaching, or publication. Conversely, individual researchers may

enjoy substantial protections within a system in which institutional decisions remain highly centralized. Intellectual independence may also be constrained by factors that do not originate in formal regulation, including inadequate funding, insecure employment, limited access to research resources, restrictive organizational cultures, or professional incentives that discourage unconventional inquiry. A comprehensive approach must therefore examine the three dimensions separately and then consider how their interaction influences the everyday operation of higher education institutions.

The historical development of academic freedom and institutional autonomy reflects changing relationships among universities, religious authorities, political institutions, professional communities, economic systems, and the wider public. Universities have developed under diverse legal and cultural arrangements, and their autonomy has never represented a uniform institutional condition. Historical models of university governance have included forms of corporate self-regulation, state-directed administration, professional collegiality, religious oversight, and contemporary systems combining public supervision with varying degrees of institutional discretion. These arrangements have influenced the authority of academic bodies, the organization of teaching, the control of research, and the extent to which scholars could participate in public intellectual life. The modern interpretation of academic freedom has emerged through the interaction of these historical experiences with developments in constitutional government, human rights, professional scholarship, scientific institutions, and international educational cooperation.

The development of modern research universities strengthened the relationship between institutional organization and intellectual inquiry. Scientific and scholarly advancement increasingly required specialized research facilities, professional academic communities, systematic training, stable funding, and mechanisms for disseminating findings. Such requirements encouraged the development of institutional arrangements intended to support research quality and disciplinary independence. Nevertheless, the relationship between academic freedom and university organization remained complex. Public authorities continued to finance and regulate many institutions, while universities increasingly assumed responsibilities for public service, professional education, economic development, and national research priorities. As higher education expanded, governments and funding bodies sought mechanisms to ensure that public resources were used effectively and that institutions met appropriate standards. These developments increased the importance of distinguishing legitimate accountability from forms of oversight that could unduly influence academic judgment.

In contemporary settings, universities function as both academic communities and organizational entities embedded in wider regulatory and economic systems. They operate under legislation, accreditation standards, employment requirements, financial regulations, research ethics procedures, data protection obligations, and professional expectations. These arrangements serve important purposes, including protecting students, supporting research integrity, maintaining educational standards, ensuring responsible expenditure, and promoting public confidence. However, the cumulative effect of regulatory requirements can create complex administrative environments in which academic personnel devote substantial time to compliance and documentation. When requirements are unclear, inconsistent, disproportionate, or insufficiently sensitive to disciplinary differences, they may constrain institutional flexibility or redirect resources away from teaching and research. The central policy challenge is therefore not the elimination of regulation, but the development of governance arrangements that protect public interests while preserving meaningful space for academic judgment and institutional initiative.

The legal foundations of academic freedom and institutional autonomy differ across national jurisdictions. Constitutional provisions, higher education statutes, employment law, administrative law, research regulations, and international human rights instruments may establish relevant protections and responsibilities. The precise legal status of academic freedom varies, however, according to constitutional traditions, statutory definitions, judicial interpretations, and the institutional context in which disputes arise. In some jurisdictions, academic freedom is explicitly recognized as a constitutional or statutory principle. In others, its protection is distributed across provisions concerning freedom of expression, freedom of research, educational rights, professional independence, or university self-

governance. Institutional autonomy may similarly be established through specific legislation, organizational charters, public funding arrangements, or delegated administrative powers. Consequently, comparative analysis must examine the substance and enforceability of legal provisions rather than assuming that similar terminology produces equivalent practical outcomes.

Formal legal recognition is important but does not, by itself, guarantee effective protection. The implementation of academic freedom depends on the clarity of institutional policies, the independence and competence of review mechanisms, the availability of appropriate remedies, and the consistency of administrative practice. A legal framework may provide broad protection while leaving important procedural questions unresolved, including how academic disputes are reviewed, how disciplinary measures are justified, or how competing institutional responsibilities are reconciled. Similarly, a university statute may declare a commitment to academic independence without specifying the authority of academic councils, the responsibilities of executive leadership, or the procedures through which academic staff can challenge decisions. This gap between formal principles and operational procedures makes institutional governance a central subject of analysis. The relevant assessment should consider both the content of legal guarantees and the practical arrangements through which individuals and institutions can exercise their rights and responsibilities.

Institutional governance determines how authority is distributed, exercised, monitored, and reviewed within higher education organizations. Governance structures may include governing boards, senates, academic councils, executive leadership, faculties, departments, research centres, student representation bodies, and administrative units. Their respective responsibilities vary according to institutional mission, legal status, national regulation, and internal organizational design. Effective governance requires clear distinctions between strategic oversight, executive management, academic decision-making, financial administration, and quality assurance. When responsibilities are poorly defined, decision-making may become unpredictable, accountability may be weakened, and conflicts of interest may be more difficult to identify. Conversely, transparent allocation of authority can support institutional effectiveness while creating opportunities for meaningful academic participation. The objective is not to impose a single governance model across all institutions, but to ensure that governance arrangements are appropriate to their context and compatible with the academic purposes of higher education.

Collegial governance has traditionally provided a mechanism for incorporating disciplinary expertise and professional judgment into academic decisions. Academic councils and faculty committees may participate in curriculum approval, research strategy, academic appointments, promotion procedures, assessment standards, and the development of institutional policies. Such participation can improve the substantive quality of decisions by incorporating knowledge of disciplinary methods, educational requirements, professional standards, and research conditions. It may also increase procedural legitimacy by ensuring that decisions affecting academic work are not determined exclusively through administrative or managerial considerations. However, collegial structures do not automatically guarantee fairness, efficiency, or independence. Their effectiveness depends on transparent procedures, representative participation, clear mandates, appropriate conflict-of-interest rules, and a willingness to evaluate decisions critically. Academic governance should therefore be assessed according to its actual operation rather than its formal structure alone.

Managerial governance has also become increasingly prominent in many higher education systems. Universities are expected to develop strategic plans, monitor performance, manage complex budgets, demonstrate educational outcomes, secure external funding, and respond to changing labour-market and research priorities. Executive leadership can provide coordination, financial oversight, operational efficiency, and institutional accountability. Nevertheless, excessive concentration of decision-making authority may reduce the influence of academic communities over matters requiring disciplinary expertise or independent scholarly judgment. Tensions can arise when short-term performance targets influence research priorities, when managerial criteria determine academic appointments without adequate peer assessment, or when institutional reputation becomes more important than methodological quality. A balanced governance structure should therefore distinguish decisions that primarily concern organizational management from those requiring substantive academic evaluation.

Collaboration between executive leadership and academic bodies is particularly important where strategic objectives directly affect teaching, research, employment conditions, or the allocation of academic resources.

The relationship between academic freedom and institutional autonomy also raises questions about the appropriate role of government. Public authorities have legitimate responsibilities to establish legal standards, protect educational quality, allocate public resources, prevent discrimination, safeguard research participants, and ensure that institutions comply with applicable obligations. Government involvement can support higher education by providing stable funding, establishing transparent regulatory requirements, promoting equitable access, and maintaining a coherent national qualifications framework. However, the same regulatory authority may create risks when oversight extends into the determination of particular scholarly conclusions, the suppression of legitimate academic debate, or the preferential treatment of research that supports a specific political or ideological position. The distinction between legitimate public oversight and inappropriate interference must therefore be evaluated in relation to the purpose, proportionality, transparency, and procedural safeguards associated with a particular intervention.

Public funding is an especially important factor in this relationship. Many universities depend substantially on government allocations, publicly supported research grants, or other forms of state-administered financial assistance. Such support can expand research capacity, improve infrastructure, support student access, and enable long-term scientific programmes that may not attract immediate commercial investment. At the same time, funding arrangements can influence institutional priorities through eligibility requirements, performance indicators, strategic research agendas, and contractual obligations. These mechanisms are not inherently incompatible with academic freedom. Their effects depend on how priorities are established, whether evaluation criteria are transparent, how much discretion institutions retain, and whether researchers can report findings that do not align with funders' expectations. Funding governance should therefore be examined not only in terms of the amount of available resources but also in terms of the conditions attached to their allocation and use.

Financial autonomy is related to, but distinct from, broader institutional autonomy. It concerns the capacity of universities to develop budgets, allocate funds, manage assets, establish financial priorities, and respond to changing academic needs within applicable legal and accountability requirements. Financial discretion can allow institutions to invest in emerging research fields, maintain essential infrastructure, support early-career researchers, and respond to unexpected operational demands. Conversely, highly restrictive budgetary arrangements may limit the ability of academic units to plan effectively or sustain long-term projects. Financial independence should not be interpreted as freedom from auditing or responsible expenditure controls. Rather, it requires an appropriate balance between institutional discretion, transparent accounting, risk management, and external accountability. Where financial decisions have direct consequences for academic activities, procedures should also provide opportunities for relevant academic expertise to inform resource allocation.

Employment conditions constitute another important dimension of academic independence. Academic personnel require fair procedures for recruitment, promotion, performance evaluation, contract renewal, and disciplinary review. Decisions in these areas influence not only individual careers but also the willingness of academics to undertake challenging research, question established assumptions, and participate in institutional governance. Employment insecurity, opaque promotion criteria, arbitrary disciplinary measures, or unequal access to professional opportunities may discourage legitimate scholarly disagreement. Such effects can arise even in the absence of explicit restrictions on academic speech. Conversely, transparent employment procedures, clear criteria, independent review, and accessible grievance mechanisms can strengthen institutional trust and reduce the likelihood that personnel decisions will be used to influence scholarly conduct improperly.

Academic appointment and promotion systems require particular attention because they influence the composition, expertise, and long-term development of academic communities. Peer review, disciplinary qualifications, research quality, teaching competence, professional conduct, and relevant institutional responsibilities may all be appropriate considerations. However, the relative importance of these criteria

should be clearly defined and applied consistently. Excessive reliance on publication counts, citation indicators, journal classifications, or other quantitative measures can provide an incomplete representation of scholarly contribution. Research quality differs across disciplines, and meaningful contributions may include methodological innovation, educational development, data creation, professional practice, public engagement, and collaborative work. Academic evaluation should therefore combine appropriate quantitative information with qualitative judgment, disciplinary context, and transparent reasoning. Such an approach supports merit-based decision-making while reducing the risk that performance assessment will distort academic priorities.

Research integrity is closely connected with academic freedom because independent inquiry depends on reliable methods, honest reporting, appropriate attribution, and responsible interpretation of evidence. Freedom to investigate does not remove the obligation to comply with ethical standards, protect participants, manage data responsibly, and disclose relevant conflicts of interest. Institutional autonomy can support research integrity by enabling universities to develop procedures suited to their scientific activities, but internal arrangements must also provide credible mechanisms for investigating misconduct and resolving allegations fairly. Where research findings have financial, political, or reputational consequences, the independence of research oversight becomes particularly important. Institutions should establish clear procedures for evaluating allegations of fabrication, falsification, plagiarism, inappropriate authorship, and other breaches of research standards. Such procedures must protect both the integrity of research and the rights of individuals involved in investigations.

The relationship between academic freedom and research ethics requires careful conceptual treatment. Ethical review may legitimately restrict or modify a proposed study where risks to participants, privacy, safety, or other protected interests are inadequately addressed. Such review is not inherently an infringement of academic freedom; it can be a necessary condition for responsible research. Nevertheless, ethical procedures should be transparent, proportionate to the risks involved, and based on relevant standards rather than arbitrary judgments about the acceptability of a research topic or anticipated conclusion. Researchers should be able to understand the reasons for decisions, respond to concerns, and access appropriate review mechanisms. Distinguishing substantive ethical safeguards from unjustified interference is essential to maintaining both research integrity and intellectual independence.

Teaching and curriculum development provide additional contexts in which academic freedom and institutional autonomy intersect. Universities must establish programmes that meet educational objectives, qualification requirements, professional standards, and relevant accreditation criteria. Within these parameters, academic staff require appropriate opportunities to select teaching methods, organize learning activities, evaluate evidence, and introduce relevant developments in their fields. Curriculum design often involves negotiation among academic expertise, student needs, institutional strategy, professional expectations, and external regulatory requirements. Centralized standards can support consistency and protect students from inadequate educational provision, but excessive prescription may limit the capacity of programmes to respond to new knowledge or disciplinary developments. Effective curriculum governance should therefore distinguish essential educational requirements from decisions that can appropriately remain within the professional judgment of academic departments and teaching staff.

Student participation also contributes to the governance environment in which academic freedom is exercised. Students have legitimate interests in educational quality, fair assessment, transparent procedures, inclusive learning environments, and access to mechanisms for addressing grievances. Their participation in institutional committees and consultation processes can improve decision-making by incorporating experiences that may otherwise remain underrepresented. At the same time, academic assessment and curriculum decisions must retain appropriate professional standards and evidential foundations. Disagreement between students and academic staff should be addressed through fair, transparent, and proportionate procedures that recognize both student rights and the responsibilities of academic personnel. A constructive institutional culture enables critical discussion while protecting participants against harassment, discrimination, retaliation, or arbitrary treatment.

The internationalization of higher education has increased the importance of comparative governance analysis. Universities participate in international research consortia, exchange programmes, joint degrees, collaborative publications, transnational educational networks, and cross-border funding arrangements. These activities can expand access to expertise, improve research quality, facilitate professional development, and strengthen the international circulation of knowledge. However, they also introduce questions concerning jurisdiction, institutional responsibility, intellectual property, data protection, publication rights, research ethics, and the compatibility of different regulatory requirements. Academic freedom may be protected differently among partner institutions, creating uncertainty when collaborative projects involve researchers working under different legal and organizational conditions. International agreements should therefore clarify responsibilities, dispute-resolution procedures, data governance requirements, and the conditions under which research findings can be communicated.

International cooperation also highlights the importance of distinguishing shared principles from institutional uniformity. Higher education systems differ in their histories, legal traditions, funding models, governance arrangements, and social responsibilities. A principle such as institutional autonomy may be implemented through different organizational structures without necessarily producing identical institutional practices. Similarly, academic freedom may be supported through constitutional guarantees in one jurisdiction and through a combination of statutory provisions, professional norms, and institutional policies in another. Comparative analysis should avoid assuming that the organizational features of one system can be transferred directly to another. Instead, it should identify the mechanisms through which different systems protect scholarly independence, distribute authority, ensure accountability, and respond to institutional conflicts. This approach makes it possible to evaluate governance arrangements in context while identifying practices that may have broader relevance.

The role of international organizations and transnational policy frameworks is important in this regard. International human rights standards, educational declarations, professional guidance, and regional agreements can provide common reference points for evaluating academic freedom and university autonomy. Such instruments may articulate principles concerning freedom of expression, freedom of scientific research, access to education, institutional self-governance, and the responsibilities of public authorities. Their legal force and practical application vary, however, according to the instrument concerned, the jurisdiction involved, and the mechanisms available for implementation. Comparative studies should distinguish binding legal obligations from recommendations, policy declarations, professional standards, and interpretive guidance. This distinction is necessary to avoid overstating the legal status of international principles while recognizing their potential influence on national legislation and institutional policy.

Quality assurance represents a further area of interaction between autonomy and accountability. Internal quality assurance systems may evaluate curriculum relevance, teaching effectiveness, assessment reliability, student progression, research performance, and institutional governance. External accreditation and review processes can provide independent scrutiny, promote minimum standards, and support public confidence in qualifications. These mechanisms are particularly important in systems where students, employers, and professional bodies rely on institutions to demonstrate that educational programmes meet established requirements. However, quality assurance can become counterproductive if it relies on overly standardized criteria, excessive documentation, or indicators that fail to capture disciplinary differences. A sound framework should combine measurable evidence with expert judgment, institutional self-evaluation, stakeholder participation, and meaningful follow-up. Its purpose should be to improve educational and research quality rather than merely to demonstrate formal compliance.

Performance measurement has become increasingly influential in higher education governance. Governments, funding agencies, university leaders, and external evaluators use indicators such as graduation rates, student satisfaction, research funding, publication output, citation performance, employment outcomes, and international collaboration to assess institutional activity. Such measures can support transparency and help identify areas requiring improvement. Nevertheless, indicators are

proxies rather than complete representations of educational quality or scholarly contribution. Their interpretation depends on the data used, the disciplinary context, the time horizon, and the institutional mission. When funding, promotion, or organizational status depends heavily on a narrow set of metrics, academics may be encouraged to prioritize measurable outputs over long-term research, educational innovation, replication studies, or socially valuable activities that are less readily quantified. Responsible performance governance should therefore use indicators as part of a broader evaluative process rather than treating them as definitive measures of academic value.

Digital transformation has introduced additional opportunities and challenges for academic freedom and institutional autonomy. Digital platforms support remote teaching, international collaboration, access to research literature, electronic publication, and the dissemination of educational materials. Data analytics may assist institutional planning, while digital research tools can improve the collection, analysis, and sharing of scientific information. At the same time, digital environments raise concerns about surveillance, privacy, algorithmic decision-making, cybersecurity, intellectual property, platform dependency, and the control of academic content. Universities increasingly rely on external technology providers for learning management systems, research infrastructure, digital communication, and administrative services. Such dependence may affect institutional control over data, system access, and the long-term availability of scholarly materials. Digital governance should therefore incorporate appropriate safeguards, transparent procurement, data protection, cybersecurity planning, and clear responsibilities for managing academic information.

Artificial intelligence adds a distinct set of considerations. AI-enabled systems can support literature discovery, language assistance, data analysis, simulation, educational feedback, and administrative decision-making. Their use may increase efficiency and broaden access to certain forms of analytical support. Nevertheless, AI systems can generate inaccurate outputs, reproduce biases, obscure the origins of information, and create uncertainty concerning authorship, intellectual property, privacy, and accountability. When AI is used in assessment, recruitment, research evaluation, or academic administration, institutions should ensure that decisions remain appropriately reviewable and that affected individuals can understand relevant procedures. Academic staff and students also require clear guidance on acceptable use, disclosure, verification, and responsibility for submitted work. The challenge is to establish proportionate governance that supports innovation without undermining scholarly integrity, professional judgment, or individual academic responsibility.

The influence of commercial interests represents another important consideration. Universities increasingly collaborate with private companies, seek industry funding, license intellectual property, establish innovation partnerships, and participate in entrepreneurial activities. These relationships can provide resources, support technological development, create professional opportunities, and facilitate the translation of research into practical applications. However, commercial agreements may introduce conflicts of interest concerning publication rights, confidentiality, research priorities, data access, and the reporting of unfavorable findings. Institutional policies should identify and manage such conflicts through disclosure requirements, independent review, transparent agreements, and appropriate protections for publication. Commercial collaboration should not automatically be treated as incompatible with academic freedom; rather, its legitimacy depends on the conditions under which academic judgment and research integrity are preserved.

The broader political environment can also affect the practical exercise of academic freedom. Universities operate within societies characterized by competing interests, ideological disagreements, changing public expectations, and varying levels of institutional trust. Research into historical events, public policy, social inequality, environmental regulation, health systems, or other contested subjects may generate criticism from external stakeholders. Such disagreement is not itself evidence of an infringement of academic freedom. In democratic and pluralistic academic environments, scholarly claims should remain open to reasoned challenge and evidential scrutiny. Problems arise when legitimate criticism is replaced by arbitrary punishment, coercive restrictions, discriminatory treatment, or attempts to determine research conclusions through non-academic authority. Institutions should therefore maintain procedures that distinguish substantive scholarly criticism from conduct that

improperly interferes with research, teaching, or publication.

The concept of neutrality requires particular care in this context. Academic institutions are not required to treat all claims as equally supported, nor should they avoid examining controversial subjects merely because findings may be socially or politically sensitive. Scholarly neutrality is better understood as a commitment to fair procedures, transparent methods, accurate representation of evidence, disclosure of relevant interests, and willingness to revise conclusions when warranted. Academic freedom protects the process of inquiry rather than guaranteeing the correctness of every academic judgment. Institutional autonomy similarly does not remove universities from public scrutiny or exempt them from ethical and legal obligations. A balanced framework must preserve independent scholarly judgment while ensuring that academic decisions remain subject to appropriate standards of evidence, professional responsibility, and procedural fairness.

The relationship between academic freedom and institutional accountability is therefore not adequately described as a simple opposition between independence and control. Accountability can strengthen autonomy when it provides transparent procedures, predictable rules, independent review, and safeguards against arbitrary intervention. Conversely, poorly designed accountability systems may reduce autonomy when they impose disproportionate burdens, create incentives for superficial compliance, or centralize decisions that require academic expertise. The quality of governance depends on the design and implementation of accountability mechanisms, including the clarity of their objectives, the proportionality of their requirements, and the independence of those responsible for review. This perspective shifts attention away from the abstract question of whether regulation should exist and toward the more practical question of how regulatory authority should be exercised.

Institutional culture is equally important because formal policies operate through everyday relationships, expectations, and professional practices. A university may possess appropriate legal protections but still exhibit organizational practices that discourage disagreement, limit participation, or create uncertainty about the consequences of expressing critical views. Conversely, institutions with clear communication, transparent leadership, fair employment procedures, and accessible review mechanisms may provide more supportive conditions for scholarly independence. Institutional culture is influenced by leadership behavior, workload allocation, recruitment practices, mentoring, professional development, academic recognition, and the treatment of disagreement. It should not be reduced to informal attitudes alone; rather, it emerges through the interaction of organizational structures, incentives, policies, and repeated institutional decisions.

The protection of academic freedom also has implications for equality, inclusion, and participation within academic communities. Unequal treatment, discrimination, harassment, and exclusion can limit the practical ability of individuals to participate in teaching, research, and institutional governance. Such conditions may affect the distribution of professional opportunities, access to research resources, promotion prospects, and the willingness to contribute to academic debate. Institutions therefore have responsibilities to establish fair employment practices, accessible grievance procedures, transparent selection criteria, and appropriate safeguards against retaliation. These measures are compatible with academic freedom because they support the conditions under which members of academic communities can participate on equitable terms. At the same time, policies intended to promote inclusion should be implemented through transparent procedures that respect applicable rights, professional standards, and the legitimate requirements of academic work.

Academic freedom is also relevant to the education of students as independent learners and future professionals. Higher education should enable students to evaluate evidence, distinguish reliable information from unsupported claims, engage constructively with disagreement, and develop the intellectual skills necessary for responsible professional practice. These objectives require learning environments in which questions can be raised, competing explanations can be examined, and conclusions can be assessed according to appropriate standards. Students should not be expected to accept claims solely because they are presented by an authority, but neither should academic learning be separated from disciplinary knowledge, methodological rigor, or professional responsibility. The educational value of intellectual independence lies in developing the capacity to reason critically and

responsibly within a structured field of knowledge.

The relationship between institutional autonomy and educational equity deserves additional consideration. Universities require sufficient flexibility to develop programmes suited to their academic missions, student populations, regional contexts, and professional responsibilities. However, autonomy must operate alongside obligations concerning accessibility, non-discrimination, qualification standards, and the responsible use of public resources. Public authorities may legitimately establish broad requirements to protect students and maintain comparability of qualifications, while institutions retain discretion over many aspects of curriculum design, pedagogy, and internal organization. Effective policy must distinguish essential common standards from unnecessary uniformity. Excessive centralization may restrict institutional innovation, whereas insufficient oversight may permit inconsistent educational quality or inadequate protection of student interests. A proportionate framework can support diversity of institutional missions while maintaining appropriate educational safeguards.

The international comparison of governance systems can help clarify these issues, provided that comparisons are based on explicit analytical criteria. Relevant dimensions include the legal status of academic freedom, the degree of institutional discretion, the role of academic staff in governance, the organization of external quality assurance, the structure of public funding, the independence of review mechanisms, and the procedures available for addressing disputes. Additional variables may include employment security, transparency of academic appointments, protection of research publication, access to legal remedies, and the involvement of students in institutional decision-making. These dimensions can be examined through legislative analysis, institutional documentation, policy review, interviews, surveys, case studies, and relevant quantitative indicators. A comparative framework should specify the limits of each method and avoid treating correlation as proof of causation.

Methodological rigor is particularly important because academic freedom and institutional autonomy are multidimensional concepts that cannot always be captured through a single indicator. Formal legal provisions may provide evidence about the declared regulatory framework but cannot fully establish how policies operate in practice. Institutional statutes may clarify the distribution of authority while leaving informal decision-making patterns unexamined. Surveys can capture perceptions of academic staff and students but may be influenced by response bias, differences in terminology, and variations in institutional culture. Interviews and case studies can provide contextual depth but may not be generalizable across entire national systems. Quantitative indicators may reveal patterns across institutions but often require careful interpretation in light of legal, historical, and organizational differences. A robust research design should therefore combine complementary sources where feasible and clearly distinguish documented findings, participant perceptions, analytical interpretations, and normative recommendations.

The study of academic governance also requires attention to conceptual consistency. Terms such as autonomy, independence, freedom, accountability, self-governance, and institutional responsibility are sometimes used interchangeably in policy discussions, even though they refer to different dimensions of institutional activity. Institutional autonomy does not necessarily imply financial independence, and academic freedom does not necessarily imply unrestricted organizational discretion. Intellectual independence may be influenced by formal rules but also by material resources, professional relationships, and access to scholarly networks. A precise conceptual framework should define these terms, identify their relevant indicators, and explain how they relate to one another. This approach improves analytical clarity and helps prevent conclusions that exceed the available evidence.

The policy relevance of this discussion extends to governments, regulatory agencies, university leaders, academic councils, researchers, students, and professional organizations. Each group exercises different responsibilities and operates under different constraints. Public authorities establish legislation and funding arrangements; institutional leaders coordinate organizational strategy and resource management; academic bodies evaluate scholarly and educational matters; researchers conduct and communicate investigations; and students participate in learning and institutional life. Effective governance depends on the clarity of these roles and the availability of mechanisms for resolving

disagreements. Policies that recognize institutional diversity, provide transparent procedures, and protect legitimate academic judgment are more likely to support both organizational accountability and the continuing development of higher education.

For policymakers, one central consideration is the alignment between regulatory objectives and the actual requirements of academic institutions. Regulations should be clear enough to guide practice, stable enough to support planning, and flexible enough to accommodate legitimate differences among disciplines and institutional missions. Where requirements are necessary, their rationale should be communicated, implementation should be proportionate, and review mechanisms should be available. Regulatory frameworks should also be periodically evaluated to determine whether they achieve their intended objectives without generating unnecessary administrative burdens or unintended restrictions on academic work. Consultation with universities, academic staff, students, professional bodies, and relevant public stakeholders can help identify implementation problems and improve the practical relevance of policy decisions.

For university leaders, the principal challenge is to integrate academic independence into ordinary organizational processes rather than treating it solely as a declaration of institutional values. Recruitment procedures, workload policies, curriculum approval, research administration, financial allocation, disciplinary processes, and performance evaluation all influence the practical conditions of academic freedom. Leaders should ensure that these procedures are transparent, consistently applied, and open to appropriate review. They should also establish clear channels for raising concerns, protecting confidentiality where necessary, and addressing disputes without arbitrary treatment. Such measures do not eliminate institutional disagreement; instead, they provide procedures through which disagreements can be resolved fairly and with due regard for academic responsibilities.

For academic communities, intellectual independence requires both protection and professional responsibility. Researchers and teachers must be able to examine evidence, communicate conclusions, and engage in debate without unjustified interference. At the same time, they remain responsible for methodological quality, accurate reporting, ethical conduct, respectful professional interaction, and compliance with legitimate institutional procedures. Academic freedom is strengthened when scholarly communities demonstrate their commitment to rigorous inquiry and transparent reasoning. Professional standards provide a basis for distinguishing justified criticism from unsupported assertion and for ensuring that disagreements are resolved through evidence and argument rather than personal authority.

The continuing transformation of higher education makes these issues particularly relevant in the twenty-first century. International research networks, digital technologies, changing funding models, evolving professional requirements, demographic shifts, and new expectations concerning social responsibility are reshaping institutional priorities. Universities must respond to these developments while maintaining the conditions necessary for reliable knowledge production and independent scholarly evaluation. Governance arrangements that were effective under earlier conditions may require revision as institutions become more interconnected, technologically dependent, and administratively complex. Such revision should be evidence-informed and context-sensitive, recognizing that institutional reform can produce both intended benefits and unintended consequences.

A further challenge concerns the relationship between short-term institutional performance and long-term academic development. Research and education frequently require sustained investment before their benefits become apparent. Fundamental research may not produce immediate commercial applications, and educational innovations may require several years before their effects can be evaluated adequately. Governance systems that prioritize immediate measurable outputs may underinvest in foundational research, early-career development, interdisciplinary collaboration, or activities that support long-term institutional capacity. A balanced approach should recognize different time horizons and forms of academic contribution. It should also distinguish the legitimate use of performance information from the assumption that all valuable academic activity can be measured through the same indicators.

Institutional resilience is another relevant consideration. Universities must be able to maintain essential academic functions during financial constraints, public emergencies, technological disruptions, political

changes, or other significant external pressures. Resilience depends partly on organizational planning, adequate resources, diversified funding where feasible, clear governance procedures, and the ability to adapt without compromising essential academic standards. Institutional autonomy can support resilience by allowing universities to respond to changing conditions, but autonomy alone does not guarantee effective adaptation. Institutions also require transparent leadership, competent administration, risk assessment, and mechanisms for maintaining trust among academic staff, students, and external stakeholders. Academic freedom remains important during periods of disruption because independent analysis can help institutions evaluate emerging risks and formulate appropriate responses.

The relationship between autonomy and interinstitutional collaboration likewise deserves attention. Universities increasingly cooperate with hospitals, public research institutes, businesses, civil society organizations, government agencies, and international partners. Such collaboration can expand expertise and resources, improve educational opportunities, and facilitate the translation of research into practice. However, partnerships may involve different expectations concerning confidentiality, intellectual property, publication, data ownership, and decision-making authority. Agreements should clearly establish which parties are responsible for research design, ethical oversight, data management, publication decisions, and dispute resolution. Where multiple institutions contribute to a project, the protection of academic independence depends partly on whether these responsibilities are established before research activities begin.

Another important issue concerns the communication of research findings to the public. Universities contribute to public understanding by disseminating evidence, explaining uncertainty, and participating in informed discussion of social and scientific questions. Public communication may involve complex decisions about confidentiality, research limitations, conflicts of interest, and the appropriate interpretation of preliminary findings. Academic freedom supports the communication of legitimate scholarly conclusions, while professional responsibility requires that those conclusions be presented accurately and in context. Institutions can support responsible communication through clear publication policies, research communication training, transparent disclosure practices, and procedures for correcting errors. These arrangements should facilitate public engagement without allowing institutional reputation management to determine the content of valid scientific conclusions.

The evaluation of academic freedom should also distinguish direct restrictions from indirect institutional pressures. Direct restrictions may include explicit prohibitions on particular research topics, unjustified censorship, or arbitrary sanctions related to legitimate scholarly expression. Indirect pressures may arise from employment insecurity, funding conditions, excessive workload, limited access to research infrastructure, informal retaliation, or evaluation systems that discourage unconventional approaches. These mechanisms differ in visibility and may require different forms of evidence. Legal analysis may be especially useful for examining formal restrictions, whereas institutional surveys, interviews, documentary analysis, and case studies may help identify informal pressures. A comprehensive evaluation should consider both types while avoiding the assumption that every administrative disagreement or negative employment decision constitutes a violation of academic freedom.

It is equally important to distinguish between institutional autonomy as a legal status and autonomy as an organizational capability. A university may have extensive formal authority but lack the financial resources, administrative expertise, research infrastructure, or professional capacity needed to exercise that authority effectively. Another institution may operate under more extensive external regulation but retain meaningful discretion over its academic priorities and internal procedures. The practical assessment of autonomy should therefore consider not only which decisions institutions are legally permitted to make but also whether they possess the capacity to implement those decisions responsibly. This broader perspective links governance analysis with institutional development, resource allocation, professional training, and long-term strategic planning.

The development of effective safeguards requires a combination of legal, organizational, and professional measures. Legal protections can establish enforceable rights and limits on external intervention. Institutional statutes can define the responsibilities of governing bodies and academic councils. Employment policies can establish fair procedures for recruitment, promotion, and disciplinary

review. Research governance systems can protect integrity while enabling appropriate scholarly inquiry. Quality assurance mechanisms can maintain educational standards without unnecessary uniformity. Independent review procedures can provide remedies when disputes arise. Professional development can strengthen awareness of ethical responsibilities, governance processes, and academic rights. None of these measures is sufficient in isolation; their effectiveness depends on consistency, accessibility, institutional trust, and the ability to adapt to changing circumstances.

A context-sensitive framework is especially important for higher education systems undergoing institutional reform. Changes in governance structures, accreditation arrangements, funding mechanisms, or employment policies may create opportunities to improve transparency and academic participation. However, reform can also introduce uncertainty when responsibilities are redistributed without clear procedures or when new requirements are implemented without adequate consultation. Comparative experience can inform reform, but policy transfer should be approached cautiously. Governance arrangements should be evaluated in relation to local legislation, institutional capacity, historical development, educational priorities, and the expectations of academic communities. The objective should be to identify principles and mechanisms that can be adapted responsibly rather than to reproduce organizational models without considering their underlying conditions.

The principal analytical premise of this introduction is that academic freedom, institutional autonomy, and intellectual independence should be examined as related dimensions of a broader system of higher education governance. Their protection and practical exercise depend on the interaction of law, institutional organization, professional norms, financial arrangements, research infrastructure, educational practice, and wider social conditions. Treating these principles separately may obscure the mechanisms through which one dimension strengthens or constrains another. Equally, treating them as interchangeable may lead to imprecise conclusions about the nature of particular governance problems. A structured analysis must therefore preserve their conceptual distinctions while examining their interdependence.

On this basis, the scientific discussion is organized around several connected areas of inquiry: the conceptual and normative foundations of academic freedom and institutional autonomy; the legislative and regulatory arrangements that establish institutional responsibilities; the governance structures through which academic and administrative decisions are made; the organizational conditions that influence the exercise of intellectual independence; and the contemporary developments that create new policy questions for higher education systems. Comparative perspectives are used to examine variation among jurisdictions and institutions, while attention is given to the methodological limitations associated with evaluating complex governance arrangements. The analysis also considers the practical relevance of transparency, proportionality, accountability, participation, and independent review in the design of institutional policies.

The overarching objective is to develop a coherent and neutral analytical understanding of the conditions under which universities can maintain academic independence while fulfilling their legal, educational, ethical, and public responsibilities. This objective does not presume that institutional autonomy should be maximized without qualification, nor that external regulation is inherently incompatible with academic freedom. Instead, it emphasizes the need to examine the purposes, procedures, and consequences of governance arrangements in their specific contexts. The relevant policy question is how to establish institutional frameworks that enable independent scholarship, responsible management, educational quality, and legitimate accountability to operate in a mutually supportive manner.

The continued development of higher education depends on the capacity of universities to combine intellectual openness with methodological rigor, organizational flexibility with transparent oversight, and institutional independence with professional responsibility. Academic freedom supports the examination and communication of knowledge; institutional autonomy provides the organizational space in which academic communities can determine and pursue legitimate priorities; and intellectual independence sustains the critical reasoning through which claims are evaluated and revised. Their interaction influences the quality of teaching, the reliability of research, the legitimacy of institutional decisions, and the contribution of universities to society. A systematic examination of their conceptual

foundations, legal status, institutional implementation, and contemporary policy dimensions can therefore contribute to more informed governance and a clearer understanding of the conditions required for sustainable academic development in diverse higher education systems.

BACKGROUND

Academic freedom, academic autonomy, and intellectual independence constitute interconnected normative foundations of contemporary higher education and scientific inquiry, shaping the conditions under which knowledge is generated, scrutinized, disseminated, and applied. Their significance extends beyond the protection of individual scholars and students, encompassing institutional capacities to establish educational priorities, determine research agendas, develop curricula, participate in scholarly debate, and maintain professional standards without inappropriate external interference. The present scholarly investigation examines the manifestation of scientific discussion concerning academic freedom, academic autonomy, and intellectual independence within the evolving institutional, regulatory, and sociopolitical architecture of global higher education during the twenty-first century. Particular attention is devoted to the conceptual distinctions and functional interrelationships among these principles, recognizing that they operate at individual, institutional, disciplinary, national, and transnational levels. The study situates contemporary debates within the historical development of universities and the progressive emergence of academic freedom as a principle associated with scholarly inquiry, professional responsibility, freedom of expression, and institutional self-governance. The analysis adopts an interdisciplinary conceptual and documentary approach integrating perspectives from higher-education studies, educational policy, international human rights law, institutional governance, sociology of knowledge, and science and technology policy. Relevant normative instruments, legal frameworks, institutional policies, scholarly literature, international declarations, and comparative higher-education analyses are examined to identify convergent principles, regulatory variations, and emerging areas of conceptual complexity. The methodological framework emphasizes qualitative interpretation, comparative analysis, and synthesis of evidence concerning the formal recognition and practical implementation of academic freedom and institutional autonomy across diverse higher-education systems. Particular consideration is given to the distinction between legally protected academic rights and their effective realization within institutional environments, thereby avoiding an assumption that formal guarantees necessarily correspond to equivalent practical conditions. The scholarly discussion demonstrates that academic freedom is multidimensional and cannot be adequately conceptualized solely as an unrestricted individual liberty. It encompasses freedom of teaching, research, publication, scholarly communication, participation in academic governance, and engagement in evidence-based intellectual debate, while remaining interconnected with professional ethics, methodological rigor, institutional responsibilities, and applicable legal norms. Academic autonomy represents an important institutional dimension of this framework, enabling universities and research organizations to exercise meaningful authority over academic priorities, organizational structures, educational programs, research strategies, personnel policies, and internal governance. Intellectual independence, meanwhile, concerns the capacity of scholars and academic communities to formulate, evaluate, communicate, and revise knowledge claims according to scholarly standards rather than predetermined ideological, political, commercial, or institutional preferences. These dimensions are analytically distinguishable but functionally interdependent. Contemporary higher education systems demonstrate substantial variation in the legal recognition, institutional interpretation, and practical application of these principles.

Comparative evidence indicates that regulatory structures may simultaneously protect academic activity and establish legitimate accountability mechanisms concerning research integrity, professional conduct, financial governance, equality, institutional responsibility, and public obligations. Consequently, the relationship between autonomy and accountability requires careful conceptual differentiation rather than treatment as inherently contradictory. Effective academic governance may require institutional independence accompanied by transparent procedures, ethical standards, quality assurance, responsible stewardship of public and private resources, and mechanisms for addressing misconduct while preserving legitimate scholarly disagreement. The twenty-first-century environment introduces additional dimensions to the scientific discussion. Digitalization, internationalization, platform-mediated communication, artificial intelligence, changing research infrastructures, evolving funding models, geopolitical developments, regulatory diversification, and transformations in knowledge production are reshaping the operational context in which academic freedom is exercised. Digital technologies can expand access to scholarship and facilitate international collaboration while simultaneously generating new questions concerning data governance, surveillance, algorithmic decision-making, information integrity, intellectual property, and responsible use of emerging technologies. Similarly, internationalization creates opportunities for cross-border scientific cooperation while exposing universities to differing legal, cultural, institutional, and regulatory environments. The study therefore conceptualizes academic freedom not as an isolated institutional privilege but as a dynamic component of a broader knowledge ecosystem involving individual rights, institutional responsibilities, legal guarantees, professional norms, and societal interests. A sustainable framework requires coherent alignment between normative principles and institutional practice, supported by transparent governance, proportionate regulation, procedural safeguards, scholarly integrity, and respect for pluralism within legitimate academic debate. The analysis further emphasizes the importance of distinguishing documented restrictions from broader perceptions or interpretations and of evaluating institutional practices according to identifiable legal and academic standards. The investigation contributes to contemporary scholarship by integrating academic freedom, academic autonomy, and intellectual independence within a unified analytical framework for examining global higher education. It proposes that their effective realization depends upon the interaction of legal protection, institutional governance, professional responsibility, procedural transparency, and evolving technological and social conditions. Such an integrated perspective provides a foundation for comparative research and policy analysis concerning the future development of universities, research institutions, and knowledge-production systems in the twenty-first century.

Academic freedom constitutes a foundational principle underpinning higher education and scholarly inquiry globally. It's conceptual, historical, and legal dimensions reflect the evolving relationship between intellectual autonomy, institutional governance, and societal expectations. This study critically examines the multi-faceted nature of academic freedom, tracing its historical roots from early European universities through its codification in modern constitutions and international human rights frameworks. The study interrogates contemporary global challenges, including political interference, commercialization of higher education, digital surveillance, and socio-cultural pressures, situating academic freedom within the 21st-century context of globalization and knowledge economies. Through an interdisciplinary approach, combining legal analysis, historical research, and comparative educational policy review, the study delineates both normative ideals and practical constraints shaping academic freedom today. Recommendations are proposed to safeguard scholarly autonomy while

balancing institutional accountability and societal responsibilities. Academic freedom stands as a cornerstone of higher education and scientific progress, enshrined as a fundamental human right and a prerequisite for the creation and dissemination of knowledge. This article presents a comprehensive, multi-faceted analysis of academic freedom, tracing its conceptual underpinnings, historical development, and legal codification, with a particular focus on the operational frameworks guiding contemporary institutions. Drawing upon national guidelines, such as those promulgated by the Georgian National Center for Educational Quality Enhancement, as a case study in systemic implementation, the paper examines the intricate balance between liberty and responsibility. It further interrogates the pressing global challenges of the 21st century—including digital surveillance, geopolitical pressures, ideological polarization, and economic precarity—that threaten the integrity of scholarly ecosystems. The article argues that robust legal safeguards, proactive institutional policies, and a renewed cultural commitment to intellectual pluralism are indispensable for preserving academic freedom as a non-negotiable pillar of democratic societies and a driver of human advancement.
Academic freedom stands as a cornerstone of intellectual progress, enabling unfettered inquiry and knowledge dissemination in an era of rapid global change. This paper examines the scientific discourse surrounding academic freedom, beginning with its conceptual foundations rooted in Enlightenment philosophy, such as John Stuart Mill's advocacy for free expression and Immanuel Kant's emphasis on reason. It traces the historical evolution from 19th-century European universities, where principles like *Lehrfreiheit* (freedom to teach) emerged, through 20th-century challenges such as McCarthyism in the United States and post-colonial reforms. Legal frameworks are analyzed, including protections under the U.S. First Amendment, the European Convention on Human Rights, and international instruments like UNESCO's 1997 Recommendation, which balance individual rights with societal responsibilities. In the 21st century, the discourse confronts pressing global challenges, including digital surveillance, funding biases from corporate entities, and geopolitical pressures that stifle research on topics like climate change or AI ethics. By synthesizing interdisciplinary perspectives, this work argues that safeguarding academic freedom is essential for democratic resilience and innovation, offering policy recommendations to mitigate emerging threats.
Academic freedom is widely regarded as a cornerstone of higher education, research, and the broader intellectual enterprise. It encompasses the autonomy of scholars and students to pursue, disseminate, and engage with knowledge without undue interference from political, ideological, or institutional constraints. Its importance extends beyond the walls of academia, as academic freedom underpins democratic governance, critical thinking, and societal innovation. By enabling scholars to explore controversial, unconventional, or untested ideas, academic freedom fosters intellectual pluralism and contributes to the advancement of knowledge, social progress, and policy development.
Historically, the notion of academic freedom has been intertwined with the emergence of universities as centers of learning, particularly during the medieval period in Europe, when scholastic communities sought protection from external authorities, especially religious and political powers. In the modern era, academic freedom has evolved alongside the expansion of research universities, the proliferation of disciplines, and the increasing influence of legal and international frameworks. Today, it is recognized not merely as a privilege but as a human right essential for the pursuit of truth, innovation, and informed civic engagement.
Academic freedom is not a monolithic concept; it manifests in multiple dimensions, including the freedom to teach, the freedom to conduct research, the freedom to publish and disseminate findings, and the autonomy of institutions themselves. These components interact with broader

societal norms, ethical obligations, and legal structures, creating a complex landscape that is both historically grounded and contemporaneously relevant. Contemporary global trends, including political polarization, economic pressures, commercialization of research, and technological transformations, have generated new challenges, raising questions about the durability, scope, and limits of academic freedom.

Academic freedom has long been regarded as a cornerstone of modern universities, ensuring the unfettered pursuit of knowledge, critical inquiry, and the dissemination of ideas. Its significance extends beyond mere institutional prerogative, serving as a societal safeguard against censorship, authoritarianism, and intellectual stagnation. In the 21st century, universities operate in increasingly complex environments characterized by political polarization, market-driven imperatives, and transnational academic networks. This necessitates a rigorous examination of the conceptual underpinnings, historical evolution, legal frameworks, and contemporary challenges associated with academic freedom.

Academic freedom represents one of the foundational principles underpinning modern higher education, intellectual inquiry, and societal advancement. At its core, academic freedom embodies the autonomy of scholars, educators, and students to pursue knowledge, engage in research, disseminate findings, and participate in intellectual debate without undue interference, constraint, or coercion from political, ideological, institutional, or economic forces. This principle is not merely an internal organizational norm; it constitutes a broader societal safeguard that ensures the generation, validation, and transmission of knowledge critical to democratic governance, cultural development, and social innovation.

The historical roots of academic freedom can be traced back to the medieval European universities, where the earliest scholars sought protection from external interference, particularly from the church and political authorities. Universities such as Bologna, Paris, and Oxford emerged as communities of scholars exercising autonomy in intellectual matters, negotiating complex relationships with ecclesiastical and sovereign powers. This historical context underscores the enduring tension between knowledge production and external authority—a tension that continues to shape academic freedom today.

In the modern context, academic freedom has evolved to encompass multiple dimensions, including the freedom to teach, freedom to conduct research, freedom to publish and disseminate knowledge, and institutional autonomy. The global expansion of higher education, the diversification of research disciplines, and the emergence of international legal instruments have all contributed to the contemporary conceptualization of academic freedom. However, the principle remains contested, particularly in societies where political, economic, or social pressures constrain intellectual autonomy.

The importance of academic freedom extends beyond individual scholars to the societal and institutional level. It serves as a precondition for critical thinking, innovation, and evidence-based policy development. By enabling scholars to question established norms, explore controversial ideas, and challenge prevailing assumptions, academic freedom fosters intellectual pluralism and supports the development of knowledge that can drive social, scientific, and technological progress. Its erosion, conversely, risks intellectual stagnation, ideological conformity, and the suppression of dissenting perspectives that are essential for healthy democracies and resilient educational systems.

Academic freedom remains an essential yet contested principle of higher education, reflecting a balance between individual autonomy, institutional governance, societal norms, and legal protections. Its historical evolution, conceptual grounding, and institutional embedding demonstrate its centrality to knowledge production, critical inquiry, and democratic

governance. However, contemporary pressures—including political interference, economic commercialization, social scrutiny, and technological transformation—pose new challenges to its exercise. Understanding these dynamics requires a comprehensive, interdisciplinary approach, which this thesis seeks to provide through an integrated analysis of conceptual, historical, legal, and practical dimensions.

The Bedrock of the Scholarly Enterprise

Academic freedom is not merely a professional privilege but the very oxygen of the scholarly enterprise. It is the principle that allows for the unfettered pursuit of truth through research, teaching, and debate, insulated from undue political, ideological, or economic coercion. Its significance transcends the academy, serving as a barometer for the health of democratic societies and a critical engine for innovation and social critique. This article deconstructs this multifaceted concept, exploring its philosophical origins, its hard-won historical trajectory, its manifestation in modern legal and institutional frameworks, and the complex array of threats it faces in today's interconnected yet fractured world.

Conceptual Foundations: Autonomy, Responsibility, and the Social Contract

The conceptual architecture of academic freedom rests on twin pillars: institutional **autonomy** and individual **liberty**. Institutional autonomy ensures that universities can govern their academic affairs, set research agendas, and appoint staff free from external interference. Within this protected space, individual liberty grants scholars and students the right to investigate, question, teach, and publish according to the rigorous standards of their disciplines, not the dictates of orthodoxy.

However, this freedom is inherently coupled with responsibility. As outlined in operational guidelines, it must be exercised within the confines of professional ethics, methodological rigor, and a commitment to the public good. The freedom to research is tempered by considerations of safety, ethics, and, in limited cases, legitimate national security. The freedom to teach requires pedagogical competence and a dedication to fostering a respectful, intellectually challenging environment. Thus, academic freedom is best understood not as absolute license, but as a **conditional right** embedded within a social contract: society grants autonomy in exchange for expertise, truth-seeking, and the educated citizenry necessary for democratic renewal.

Historical Evolution: From Medieval *Licentia Docendi* to Modern Entitlement

The historical journey of academic freedom is one of struggle and gradual institutionalization. Its roots can be traced to the medieval university's *licentia docendi* (license to teach), though this early form was often constrained by religious authority. The modern conception emerged forcefully in 19th-century Germany with Wilhelm von Humboldt's model, linking *Lehrfreiheit* (freedom to teach) and *Lernfreiheit* (freedom to learn) to the unity of research and teaching.

The 20th century witnessed both the apex and the brutal negation of this ideal. While organizations like the American Association of University Professors (AAUP) codified principles of tenure and free inquiry post-1915, the century was marred by totalitarian suppressions, ideological purges, and McCarthyist loyalty oaths. These conflicts underscored that academic freedom is never permanently secured but must be vigilantly defended through legal and cultural means. The post-Cold War era saw its enshrinement in international declarations and national constitutions, such as in Georgia, where it is explicitly protected under Article 27, reflecting its status as a fundamental human right.

Legal and Institutional Frameworks: Codification and Implementation

The translation of principle into practice occurs through layered legal and institutional frameworks. At the international level, instruments like the UNESCO Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel (1997) provide normative guidance. Nationally, as exemplified by Georgia's Law on Higher Education, specific statutes define the scope of freedom, permissible limitations, and the autonomy of higher education institutions.

Effective implementation, however, hinges on institutional policy. Contemporary guidelines, such as those analyzed here, advocate for a systemic approach:

- **Proactive Cultural Cultivation:** Fostering an environment of intellectual respect where diverse perspectives can coexist and clash productively.
- **Structural Safeguards:** Establishing clear, accessible mechanisms to protect scholars and students from retaliation for expressing controversial or unpopular views.
- **Continuous Reflexivity:** Encouraging self-assessment through climate surveys and forums to understand perceptions of freedom across different stakeholder groups (e.g., tenured versus contingent faculty).
- **Delimitation of Limits:** Explicitly defining, as per Georgian law, the narrow grounds for legitimate restriction—such as organizational necessity in curriculum management or constraints arising from state secrets—ensuring any limitation is proportionate, reasonable, and non-discriminatory.

This multi-actor framework allocates responsibilities among the state (legislative protection), institutions (policy and environment), the academic community (peer support and ethical conduct), and the broader society (fostering public trust and dialogue).

Conceptualization of Academic Freedom

Academic freedom is a multi-faceted and complex concept, defined variably across philosophical, legal, and institutional contexts. At the conceptual level, it is often associated with the broader principles of freedom of expression, autonomy, and intellectual responsibility. Philosophers and educational theorists have highlighted its normative dimensions, emphasizing the intrinsic and instrumental value of freedom in the pursuit of knowledge. For instance, the Humboldtian model of higher education underscores the inseparability of research and teaching and situates academic freedom as a prerequisite for scholarly creativity and moral responsibility.

The conceptual foundation of academic freedom includes several interrelated elements:

- **Freedom to Teach and Learn:** Scholars and students must have the autonomy to explore, critique, and engage with knowledge in their disciplines without external censorship. This freedom enables pedagogical innovation, critical engagement, and intellectual development.
- **Freedom to Conduct Research:** Researchers must have the liberty to pursue investigations, formulate hypotheses, and disseminate findings, even when the topics are politically sensitive or socially controversial.
- **Freedom to Publish and Disseminate Knowledge:** The right to communicate scholarly work through academic publications, conferences, and digital media is essential for knowledge circulation and scholarly debate.
- **Institutional Autonomy:** Universities and research institutions must enjoy sufficient independence in governance, curriculum design, and policy-making to foster an environment conducive to free inquiry.

These conceptual dimensions are not absolute; they exist in dynamic interaction with societal norms, legal frameworks, ethical obligations, and institutional priorities. The challenge lies in balancing individual freedoms with social responsibilities, particularly in multicultural, pluralistic, and globally interconnected contexts.

The historical evolution of academic freedom reveals its gradual emergence as both a normative ideal and a legally recognized right. In the medieval period, universities were largely ecclesiastical institutions, and academic inquiry was subject to religious and political oversight. However, scholars gradually negotiated autonomy through charters and privileges, establishing the principle of self-governance in intellectual matters. This period laid the groundwork for understanding academic freedom as both a protective mechanism and a moral obligation.

The modern era, particularly the 19th and early 20th centuries, witnessed the institutionalization of academic freedom alongside the rise of research universities. In Germany, the Humboldtian model emphasized the unity of teaching and research, positing that academic freedom was necessary for the cultivation of independent, critically engaged scholars. The United States developed its own model, incorporating tenure systems and First Amendment protections to safeguard the independence of faculty and scholars.

The 20th century further expanded the legal and institutional recognition of academic freedom, shaped by global political events, wars, and authoritarian regimes. International organizations such as UNESCO formally articulated the principles of academic freedom, emphasizing its role in human rights, democracy, and sustainable development. Regional variations emerged, reflecting historical, political, and cultural differences: European states often emphasized institutional autonomy, while post-colonial states faced challenges in balancing academic freedom with nation-building and state development imperatives.

Legal Frameworks and International Protections

Academic freedom is increasingly recognized as a legally protected right, embedded in international instruments, national constitutions, and institutional policies. At the international level, the **Universal Declaration of Human Rights (UDHR)** and the **International Covenant on Economic, Social, and Cultural Rights (ICESCR)** establish a normative framework recognizing the right to education and freedom of expression. UNESCO recommendations further emphasize the protection of teaching personnel, institutional autonomy, and scholarly integrity.

National legal frameworks vary widely in scope and effectiveness. In the United States, academic freedom is closely linked to the First Amendment and the legal concept of tenure, providing robust protection for faculty speech and research. European frameworks, while emphasizing institutional autonomy, often rely on legislative and constitutional provisions to safeguard scholarly activities. Other regions, particularly in the Global South, face challenges in implementing legal protections due to political instability, limited resources, and historical legacies of state control over education.

Institutional policies complement these legal frameworks by establishing internal mechanisms, codes of conduct, and governance structures to protect academic freedom. Effective implementation requires clear articulation of rights, dispute resolution processes, and mechanisms to address conflicts between freedom and responsibility.

Contemporary Challenges and Threats

Despite extensive legal and institutional protections, academic freedom faces numerous contemporary threats. Political interference remains a major concern, particularly in

authoritarian regimes or politically polarized societies, where government authorities may attempt to influence research agendas, restrict controversial topics, or suppress dissenting views. Economic pressures also pose challenges: commercialization of research, dependence on corporate funding, and market-driven educational policies can compromise intellectual autonomy.

Social and cultural dynamics further complicate academic freedom. The rise of social media, public scrutiny, and identity politics can create informal pressures on scholars, leading to self-censorship or constraints on intellectual exploration. Ethical concerns and societal expectations may clash with academic inquiry, necessitating careful navigation between freedom and responsibility. Technological developments, including data surveillance, AI-driven analytics, and digital publication platforms, introduce both opportunities and vulnerabilities for academic freedom.

Case studies from around the world highlight these challenges, demonstrating how scholars, institutions, and policymakers must adapt to protect intellectual autonomy while balancing societal obligations. The global nature of contemporary higher education underscores the need for coordinated strategies, cross-border collaboration, and robust institutional frameworks.

❖ Contemporary Global Challenges in the 21st Century

Despite robust legal foundations, academic freedom faces unprecedented and evolving global challenges:

- **Authoritarian Encroachment and Geopolitics:** In numerous countries, universities face direct state interference in appointments, curriculum, and research, often framed as matters of "national interest" or "patriotic education."
- **The Digital Panopticon:** Surveillance technologies, cyber-attacks, and online harassment create a chilling effect, jeopardizing research on sensitive topics and the privacy of scholarly communication.
- **Neoliberal Market Pressures:** The commodification of education and reliance on external funding can skew research priorities towards commercial applications, marginalizing critical or non-lucrative fields.
- **Ideological Polarization and "Cancel Culture":** Within and outside academia, heightened social tensions can lead to intolerance, self-censorship, and disciplinary actions that bypass formal safeguards, undermining open debate.
- **Precarity of Academic Labor:** The rise of short-term, untenured contracts, as noted in guidelines, creates a vulnerable workforce less secure in exercising its freedoms, deepening inequities within the academy.
- **Global Inequities:** Scholars in the Global South often face compounded challenges: resource constraints, political instability, and asymmetrical power dynamics in international publishing and collaboration.

Academic freedom is universally acknowledged as a central pillar of higher education, intellectual inquiry, and social progress. It encompasses the autonomy of scholars, educators, and students to engage in research, teaching, and intellectual discourse without undue interference from external forces, including political authorities, ideological pressures, and institutional constraints. Its significance transcends the immediate academic environment, influencing societal norms, policy formation, innovation, and democratic governance.

At its core, academic freedom ensures the pursuit of truth and knowledge through independent thought, critical analysis, and open debate. Scholars are empowered to question prevailing assumptions, explore controversial or unconventional ideas, and disseminate findings that may

challenge societal, political, or institutional norms. In this sense, academic freedom functions both as a protective mechanism for scholars and as a societal safeguard that underpins democratic principles and human development.

The contemporary relevance of academic freedom is particularly pronounced in the 21st century, as higher education systems face complex challenges arising from globalization, technological innovation, political polarization, commercialization, and sociocultural shifts. These dynamics have profound implications for the exercise of academic freedom, necessitating a rigorous, interdisciplinary exploration of its origins, historical evolution, conceptual foundations, and contemporary challenges.

Conceptual Foundations and Philosophical Underpinnings

Understanding academic freedom requires a thorough examination of its conceptual and philosophical foundations. Philosophers, educators, and legal theorists have long debated the nature, scope, and limits of intellectual freedom within academic settings. The concept of academic freedom is rooted in several key philosophical traditions, each emphasizing distinct dimensions of knowledge, autonomy, and societal responsibility.

Liberal Philosophy and Autonomy

Liberal political philosophy has significantly shaped modern understandings of academic freedom. Drawing upon Enlightenment ideals, scholars such as John Locke, Immanuel Kant, and John Stuart Mill emphasized the importance of individual autonomy, freedom of thought, and rational inquiry. Academic freedom is thus conceptualized as an extension of fundamental civil liberties, enabling scholars to pursue truth without coercion. It aligns with the broader principles of free expression, rational debate, and moral responsibility, underscoring the notion that knowledge production is inherently linked to individual and societal autonomy.

Humboldtian Model of Higher Education

Wilhelm von Humboldt's model of higher education, developed in early 19th-century Germany, provides a foundational framework for modern academic freedom. Humboldt emphasized the unity of teaching and research, arguing that true scholarship requires the liberty to investigate, theorize, and disseminate knowledge independently of external constraints. His approach situates academic freedom as both a moral obligation and a practical necessity for cultivating intellectual creativity, critical thinking, and social responsibility.

Sociological and Institutional Perspectives

Sociological analyses of academic freedom focus on the interaction between individual scholars, institutional governance, and societal norms. Scholars such as Clark Kerr and Burton Clark highlight the role of universities as autonomous communities of inquiry, where intellectual freedom is maintained through governance structures, peer review, tenure systems, and collegial norms. This perspective underscores that academic freedom is not solely an individual right but a relational construct embedded within organizational and societal frameworks.

Ethical and Normative Considerations

Ethical debates surrounding academic freedom emphasize the balance between liberty and responsibility. Scholars must exercise freedom in a manner that respects ethical standards, societal norms, and the rights of others. The ethical dimension is particularly relevant in research involving human subjects, sensitive social issues, or contentious political topics.

Academic freedom, therefore, entails both the right to pursue knowledge and the responsibility to uphold integrity, objectivity, and ethical conduct.

Historical Origins of Academic Freedom

The origins of academic freedom can be traced to the emergence of universities in medieval Europe. These institutions were initially closely associated with religious authority, particularly the Catholic Church, which exercised considerable control over intellectual activity. However, early scholars sought autonomy to pursue inquiry and debate within the university setting.

Medieval Universities and Scholastic Autonomy

Universities such as Bologna, Paris, and Oxford established the first frameworks for academic autonomy. Scholars negotiated charters and privileges that protected their intellectual activities from external interference, particularly from ecclesiastical and political authorities. These early arrangements allowed for the emergence of self-governing scholarly communities, laying the groundwork for the principles of academic freedom. The medieval notion of academic freedom was closely linked to the legal concept of clerical immunity, which granted scholars certain protections under canon and civil law.

Renaissance and Early Modern Developments

The Renaissance period brought increased emphasis on humanism, secular learning, and empirical inquiry. Academic freedom began to expand beyond theological discourse to include broader areas of knowledge, such as natural philosophy, medicine, and law. The early modern period saw universities increasingly asserting independence from religious and political authorities, creating the conditions for the emergence of modern research universities.

19th-Century Institutionalization

The 19th century marked a critical period in the institutionalization of academic freedom. The Humboldtian model in Germany established research universities as centers of both teaching and independent scholarship, formalizing the principle that academic freedom is essential for intellectual development. In the United States, academic freedom gained legal recognition through tenure systems and landmark court cases, establishing protections for faculty speech and research activities.

International Recognition and Legal Frameworks

The 20th century witnessed the formalization of academic freedom as a recognized human right and legal principle at the international level. Organizations such as UNESCO, the United Nations, and the International Association of Universities have articulated guidelines and recommendations emphasizing the importance of protecting academic freedom globally.

❖ **International Instruments**

➢ **Universal Declaration of Human Rights (UDHR, 1948):** Article 19 guarantees freedom of opinion and expression, while Article 26 emphasizes the right to education. These provisions underpin the normative framework for academic freedom.

➢ **International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights (ICESCR, 1966):** Recognizes the right to education and the freedom to engage in scientific research, establishing binding obligations for states that ratify the covenant.

➢ **UNESCO Recommendations:** UNESCO's 1997 Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel provides detailed guidance on academic freedom, including rights, responsibilities, and institutional obligations.

National Legal Protections

- **United States:** The First Amendment, combined with the doctrine of academic tenure, provides strong legal safeguards for faculty and researchers, protecting speech, research, and teaching activities from governmental interference.
- **European Union and Member States:** National constitutions and higher education legislation often guarantee institutional autonomy and freedom of academic inquiry, complemented by European human rights instruments.
- **Global South:** Legal protections vary widely, with many countries facing challenges related to political instability, state oversight, and resource constraints. International guidelines provide a framework, but implementation often depends on local political and institutional dynamics.

Institutional Dimensions and Governance

Academic freedom is inextricably linked to the autonomy and governance of higher education institutions. Universities function as communities of inquiry, where policies, governance structures, and cultural norms shape the exercise of academic freedom. Key dimensions include:

- **Tenure and Appointment Systems:** Provide job security and protection for faculty, allowing them to pursue research and express opinions without fear of retribution.
- **Institutional Autonomy:** Legal and organizational independence enables universities to control curriculum design, research agendas, and internal governance.
- **Collegial Governance:** Shared decision-making among faculty and administrators fosters a culture of accountability, dialogue, and protection for intellectual diversity.
- **Codes of Conduct and Ethics:** Establish expectations regarding responsible use of academic freedom, particularly in research, teaching, and public engagement.

Contemporary Context and Emerging Challenges

Despite its historical and legal foundations, academic freedom faces new challenges in the 21st century. Globalization, technological innovation, commercialization, and sociopolitical dynamics create complex pressures that affect both individual scholars and institutions.

Political and Ideological Pressures

Governments and political entities may attempt to influence curricula, research priorities, and faculty appointments. Authoritarian regimes, political polarization, and state surveillance pose risks to intellectual autonomy, particularly in sensitive disciplines such as social sciences, political studies, and public policy research.

Economic and Commercial Pressures

The increasing dependence of universities on private funding, corporate partnerships, and market-driven policies can compromise academic independence. Research agendas may be shaped by commercial interests rather than scholarly merit or societal need, creating ethical and institutional tensions.

Social and Cultural Pressures

Societal norms, identity politics, and public opinion can generate informal constraints on academic freedom. Social media, cancel culture, and public scrutiny may lead scholars to self-censor or avoid controversial topics, potentially limiting intellectual diversity and critical debate.

Technological Impacts

Advances in digital communication, data analytics, and AI pose both opportunities and risks. While technology enables wider dissemination of knowledge, it also facilitates surveillance, cyber threats, and ethical dilemmas related to privacy, data ownership, and research integrity.

Research Objectives and Questions

The primary objective of this research is to provide a comprehensive examination of academic freedom, elucidating its conceptual foundations, historical development, legal frameworks, and contemporary challenges. The study aims to generate insights that are theoretically robust, empirically grounded, and practically relevant to policymakers, educators, and scholars worldwide.

This thesis aims to provide a comprehensive analysis of academic freedom, integrating conceptual, historical, legal, and contemporary perspectives. The research objectives are as follows:

- To critically examine the conceptual foundations and theoretical underpinnings of academic freedom.
- To trace the historical evolution of academic freedom across different regions and institutional contexts.
- To analyze legal frameworks, international instruments, and institutional policies that protect academic freedom.
- To identify and evaluate contemporary challenges threatening academic freedom globally in the 21st century.
- To propose strategies, recommendations, and best practices to strengthen academic freedom in modern higher education contexts.
- To elucidate the conceptual foundations of academic freedom, distinguishing it from related notions of institutional autonomy and freedom of expression.
- To trace the historical trajectory of academic freedom, identifying key developments in different cultural and political contexts.
- To analyze the legal frameworks at national and international levels that protect and regulate academic freedom.
- To critically assess contemporary challenges to academic freedom in the globalized 21st-century higher education landscape.

The corresponding research questions are:

- What are the philosophical, theoretical, and definitional foundations of academic freedom?
- How has academic freedom evolved historically across different regions and political contexts?
- What legal instruments and institutional policies protect academic freedom, and how effective are they?
- What contemporary threats—political, economic, social, and technological—affect academic freedom today?
- What strategies can enhance the protection and promotion of academic freedom in the 21st century?
- What are the core conceptual elements of academic freedom, and how have they evolved over time?

- How have historical events, including political and ideological shifts, shaped the legal recognition and limitations of academic freedom?
- What are the principal legal frameworks safeguarding academic freedom internationally and within specific jurisdictions?
- How do contemporary global challenges, including commercialization, political pressures, and digital technologies, impact academic freedom?
- **Conceptual Inquiry:** What are the philosophical, theoretical, and definitional foundations of academic freedom? How do these frameworks inform its practice in diverse institutional and national contexts?
- **Historical Development:** How has the concept of academic freedom evolved over time, from its medieval origins to contemporary global structures? What historical milestones have shaped its scope and interpretation?
- **Legal Frameworks:** What international, regional, and national legal instruments protect academic freedom? How effective are these frameworks in addressing contemporary threats?
- **Contemporary Challenges:** What political, economic, social, and technological factors threaten academic freedom today? How do institutions and scholars navigate these challenges in practice?

Research Problem

Despite its centrality to higher education and intellectual life, academic freedom faces persistent and emerging threats. Political pressures can manifest as censorship, ideological interference, or restrictions on research agendas, particularly in regions where state interests supersede institutional autonomy. Economic pressures, including the commercialization of research and dependency on private funding, can compromise the impartiality and independence of scholarly work. Furthermore, social and cultural dynamics, such as the increasing influence of identity politics, social media scrutiny, and public opinion, may impose informal constraints that limit free inquiry and expression.

The tension between academic freedom and other societal values, including equality, inclusivity, security, and public accountability, presents additional challenges. Scholars may encounter conflicts between the right to pursue controversial ideas and the need to adhere to ethical, legal, and social norms. Moreover, the legal frameworks designed to protect academic freedom vary across jurisdictions and often provide incomplete or inconsistent safeguards, leaving institutions and individuals vulnerable to infringement. These complex dynamics necessitate a rigorous, interdisciplinary analysis of academic freedom, encompassing conceptual, historical, legal, and contemporary perspectives.

Significance of the Study

The significance of this research is multifaceted. Academically, it contributes to a rigorous understanding of academic freedom as a theoretical and practical construct, integrating insights from philosophy, law, history, and educational policy. Practically, it provides guidance for institutions seeking to design robust governance structures, policies, and protections that uphold academic freedom in complex and evolving contexts. From a societal perspective, the study underscores the critical role of academic freedom in sustaining democratic governance, promoting critical inquiry, and fostering innovation.

The research addresses gaps in the literature, particularly in relation to the interplay between legal frameworks, institutional policies, and contemporary challenges. By offering comparative

insights and actionable recommendations, the study informs policymakers, university administrators, and scholars committed to protecting and advancing the principles of free inquiry and intellectual autonomy.

By providing a comprehensive interdisciplinary analysis, this study contributes to scholarly discourse on higher education policy, legal studies, and the philosophy of education. It offers practical insights for policymakers, university administrators, and scholars seeking to navigate the complex interplay between intellectual autonomy and societal accountability.

The significance of this research lies in its holistic approach to understanding academic freedom. By examining its conceptual foundations, historical evolution, legal protections, institutional frameworks, and contemporary challenges, the study provides a comprehensive perspective that is both theoretically rigorous and practically relevant.

The significance of this study is multidimensional:

- **Academic Contribution:** Advances understanding of academic freedom as a theoretical, historical, and legal concept, integrating insights from philosophy, law, education, and policy studies.
- **Practical Implications:** Provides actionable guidance for policymakers, university administrators, and scholars seeking to protect academic freedom and navigate contemporary challenges.
- **Societal Impact:** Highlights the critical role of academic freedom in fostering innovation, democratic governance, and social progress.
- **Global Perspective:** Addresses international variations in the understanding, protection, and challenges of academic freedom, offering comparative insights and policy recommendations.
- **Theoretical Contribution:** Enhances understanding of academic freedom as a multi-dimensional concept, integrating philosophy, law, sociology, and educational theory.
- **Policy and Practice:** Offers guidance for universities, policymakers, and international organizations seeking to protect academic freedom and promote scholarly autonomy.
- **Global Relevance:** Addresses contemporary challenges across diverse political, cultural, and institutional contexts, providing comparative insights for the 21st-century academic landscape.

By bridging conceptual, historical, legal, and practical dimensions, the study contributes to sustaining academic freedom in the rapidly evolving landscape of 21st-century higher education.

Methodology

The study employs an interdisciplinary and qualitative approach, combining doctrinal legal research, historical inquiry, and comparative analysis.

- **Doctrinal Legal Research:** Examination of national and international legal framework, statutory instruments, judicial decisions, and international treaties related to academic freedom.
- **Historical Analysis:** Tracing the evolution of academic freedom from medieval to modern periods, identifying key milestones, philosophical influences, and institutional transformations.
- **Comparative Case Studies:** Selection of representative countries and institutions to analyze different approaches to protecting academic freedom, highlighting successes, challenges, and contextual factors.
- **Thematic Analysis:** Identification of recurring themes, tensions, and patterns in academic freedom debates, including conflicts between freedom, responsibility, and societal expectations.

This methodology ensures a comprehensive, nuanced, and evidence-based analysis of academic freedom in diverse global contexts.

RESULTS AND DISCUSSION

Results and discussion section presents an integrated analytical synthesis of the findings derived from conceptual, historical, legal, and comparative examination of academic freedom in the twenty-first century. Rather than treating results as narrowly empirical outcomes, this section conceptualizes results as the cumulative patterns, convergences, and tensions identified across legal texts, institutional practices, historical trajectories, and contemporary global developments. The discussion situates these results within broader theoretical and normative debates, offering an academically rigorous interpretation of how academic freedom is currently constituted, challenged, and redefined worldwide.

The results demonstrate that academic freedom remains universally recognized as a foundational value of higher education, yet its substantive meaning and operationalization vary significantly across jurisdictions and institutional contexts. Conceptual analysis reveals a persistent core consensus that academic freedom encompasses freedom of teaching, freedom of research, freedom of learning, and freedom of scholarly expression. However, the findings also indicate that contemporary interpretations increasingly frame academic freedom as a conditional and relational principle rather than an absolute entitlement. This shift reflects the growing influence of accountability regimes, ethical governance, and societal expectations, which together redefine the boundaries within which academic freedom is exercised.

Historically grounded results confirm that academic freedom has never existed as a static or uncontested principle. From its roots in medieval university privileges through its formalization in the Humboldtian model and its post-war codification in constitutional and international instruments, academic freedom has evolved in response to political authority, social transformation, and epistemic change. The results show that historical periods characterized by democratic consolidation tend to expand academic freedom, while periods of political instability or ideological polarization correspond with its contraction. This cyclical pattern underscores the vulnerability of academic freedom to broader socio-political forces and highlights its dependence on democratic norms and institutional resilience.

Legal analysis yields the result that constitutional and legislative recognition of academic freedom is now widespread, particularly in democratic and semi-democratic systems. Nevertheless, the discussion reveals a pronounced implementation gap between legal guarantees and lived academic practice. In many systems, legal texts articulate academic freedom in broad declarative language without providing detailed enforcement mechanisms or clear standards for institutional accountability. As a result, academic freedom is frequently mediated through institutional regulations, employment contracts, and quality assurance frameworks, which may either strengthen or weaken its practical realization. The findings suggest that legal protection is most effective when complemented by independent judicial oversight and transparent institutional grievance mechanisms.

Comparative examination of legal frameworks demonstrates that systems with strong traditions of institutional autonomy tend to provide more robust environments for academic freedom, although autonomy alone does not guarantee protection. The results indicate that autonomy can be undermined internally through managerial governance models that centralize authority and marginalize academic participation. In such cases, restrictions on academic freedom often arise not from direct state interference but from internal institutional practices driven by performance management, risk aversion, and reputational concerns. This finding challenges simplistic

assumptions that state withdrawal automatically enhances academic freedom and instead points to the importance of democratic governance within institutions.

The results further reveal that market-oriented reforms in higher education exert a significant structural influence on academic freedom. Increased reliance on competitive funding, performance metrics, and international rankings reshapes academic priorities and incentives. The discussion shows that while these mechanisms aim to enhance efficiency and global competitiveness, they also narrow the range of legitimate academic activity by privileging measurable outputs over critical, exploratory, or long-term research. This dynamic produces indirect constraints on academic freedom, particularly in disciplines that do not align easily with dominant evaluation criteria. The findings suggest that marketization operates as a form of soft governance that subtly but pervasively conditions academic behavior.

Employment structures emerge as a critical determinant of the effective exercise of academic freedom. The results demonstrate a clear correlation between employment security and the willingness of academics to engage in controversial research or public critique. Scholars in precarious employment positions experience heightened vulnerability to institutional and external pressures, leading to increased self-censorship. This stratification produces unequal distributions of academic freedom within the same institution, undermining the principle's universality. The discussion emphasizes that academic freedom cannot be meaningfully protected without addressing structural inequalities in academic labor markets.

Epistemic analysis yields the result that academic freedom is increasingly shaped by dominant paradigms of knowledge production and evaluation. The findings indicate that disciplinary hierarchies, methodological orthodoxies, and publication regimes influence which forms of knowledge are recognized and rewarded. While these structures maintain scholarly standards, they also constrain intellectual diversity when enforced rigidly. The discussion highlights that epistemic conformity can function as an internal limitation on academic freedom, particularly when innovation, interdisciplinarity, or critical perspectives challenge established norms.

The results also show that technological transformation profoundly alters the conditions of academic freedom. Digital platforms facilitate unprecedented access to information and global collaboration, yet they also enable surveillance, data-driven evaluation, and algorithmic governance. The discussion reveals that these technologies introduce new forms of control that operate invisibly through monitoring systems and performance analytics. Academics increasingly internalize evaluative criteria embedded in digital infrastructures, leading to behavioral adaptation and self-regulation. This finding underscores the need to reconceptualize academic freedom in light of technological mediation.

❖ Conceptual Foundations of Academic Freedom

Academic freedom is a multifaceted concept, representing the intersection of philosophical principles, legal protections, institutional governance, and societal expectations. While its historical roots and legal frameworks are essential to understanding its evolution, a robust analysis of academic freedom requires careful exploration of its conceptual underpinnings. This study examines the definitions, theoretical perspectives, dimensions, and debates surrounding academic freedom, situating it within broader intellectual, ethical, and societal frameworks. Comparative conceptual models from diverse global contexts will also be considered, emphasizing variations in interpretation, practice, and institutionalization.

The study of academic freedom as a concept reveals tensions between liberty and responsibility, individual rights and collective norms, and autonomy and accountability. Understanding these tensions is crucial for establishing policies, institutional frameworks, and legal protections that sustain academic freedom in contemporary higher education systems.

Defining Academic Freedom

Academic freedom has been defined in diverse ways by scholars, legal instruments, and international organizations. While definitions vary, certain core elements are consistent across frameworks: the autonomy of scholars to teach, research, and publish; institutional independence; and protection from undue external interference.

International Definitions

UNESCO's **Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel (1997)** defines academic freedom as the right of scholars to express ideas freely, teach without censorship, conduct research independently, and participate in public debate without fear of reprisal. This definition emphasizes the dual dimensions of individual freedom and institutional responsibility.

The **International Association of Universities (IAU)** similarly emphasizes that academic freedom is essential for universities to fulfill their role as centers of knowledge production, innovation, and societal critique. These international instruments highlight that academic freedom is not only a legal or organizational principle but a normative value central to the mission of higher education.

Legal Definitions

In the United States, academic freedom has been interpreted through constitutional jurisprudence, particularly the First Amendment, and institutional policies. Landmark cases, such as **Keyishian v. Board of Regents (1967),** recognize that academic freedom is "a special concern of the First Amendment" and includes the right to teach and research controversial topics without political interference.

European legal frameworks often define academic freedom in relation to institutional autonomy, emphasizing the university's right to govern its curriculum, research programs, and internal policies independently of the state. For example, Germany's **Hochschulautonomie** doctrine highlights the importance of self-governance and internal decision-making in preserving academic freedom.

Scholarly Perspectives

Scholars have highlighted both intrinsic and instrumental dimensions of academic freedom. Intrinsically, academic freedom is a moral and intellectual good, essential for personal development, scholarly integrity, and the pursuit of truth. Instrumentally, it supports societal objectives, including democratic governance, innovation, and the dissemination of knowledge. These perspectives underscore the dual function of academic freedom as a protective mechanism for scholars and a social safeguard for knowledge production.

Theoretical Perspectives

The conceptual foundations of academic freedom are informed by multiple theoretical frameworks, including liberalism, democratic theory, epistemology, and sociological perspectives.

Liberal Philosophical Foundations

Liberal political theory, rooted in the works of **John Locke, John Stuart Mill,** and **Immanuel Kant**, emphasizes individual autonomy, freedom of expression, and rational inquiry. Academic freedom is conceptualized as an extension of these civil liberties, enabling scholars to engage in critical thinking, pursue knowledge, and challenge established norms without fear of coercion.

John Stuart Mill's principle of liberty is particularly influential. In *On Liberty*, Mill argues that the free exchange of ideas is essential for the discovery of truth and societal progress. Applied to academic settings, this principle underscores the importance of protecting controversial or unpopular ideas, ensuring that scholarship is not limited by prevailing political, religious, or social orthodoxies.

Humboldtian Model of Higher Education

Wilhelm von Humboldt's 19th-century vision for universities in Germany provides a central theoretical foundation for modern academic freedom. Humboldt argued that research and teaching should be inseparable, and that true intellectual development requires autonomy from external authority. The Humboldtian model emphasizes self-directed scholarship, critical inquiry, and moral responsibility, situating academic freedom as both a right and an ethical obligation of scholars.

This model influenced the development of research universities worldwide, particularly in North America and Europe, and continues to shape contemporary debates on institutional autonomy, faculty governance, and academic responsibility.

Sociological and Institutional Perspectives

Sociological theories conceptualize academic freedom as a relational phenomenon embedded within institutional structures and societal contexts. Scholars such as **Clark Kerr** and **Burton Clark** emphasize the role of universities as "organized anarchy," where academic freedom is maintained through complex governance structures, tenure systems, peer review, and cultural norms.

From this perspective, academic freedom is not purely an individual right but a socially mediated process. Institutional policies, collegial decision-making, and professional norms provide mechanisms for balancing freedom, accountability, and societal expectations. Sociological theories also highlight how external pressures—political, economic, or social—interact with internal governance to shape the scope and exercise of academic freedom.

Ethical Dimensions

Ethical theories contribute to understanding academic freedom as a principle that carries moral responsibility. Scholars must exercise freedom in a manner consistent with professional integrity, research ethics, and societal obligations. Ethical challenges arise in sensitive areas such as medical research, social policy, and political science, where academic work may affect public safety, social cohesion, or individual rights.

The ethical dimension emphasizes that freedom in academia is not absolute; it is bounded by considerations of responsibility, fairness, and societal impact. This framework provides a normative basis for regulating academic conduct while preserving the essential liberties of scholars.

Components and Dimensions of Academic Freedom
Academic freedom comprises multiple, interrelated dimensions, each of which contributes to the overall functioning of higher education and research systems.

Freedom to Teach
Teaching freedom ensures that educators can design curricula, present diverse perspectives, and engage students critically without fear of reprisal. It enables pedagogical innovation, encourages intellectual exploration, and fosters critical thinking among students. Constraints on teaching, whether ideological or institutional, can limit knowledge diversity and undermine educational quality.

Freedom to Conduct Research
Research freedom allows scholars to formulate hypotheses, design studies, and explore controversial or novel ideas. It is essential for scientific discovery, technological advancement, and evidence-based policy development. Threats to research freedom may arise from political censorship, funding constraints, or institutional interference.

Freedom to Publish and Disseminate Knowledge
The ability to communicate research findings through publications, conferences, and digital platforms is central to academic freedom. This dimension ensures knowledge dissemination, scholarly debate, and the cumulative advancement of science and ideas. Limitations on publishing, whether legal, political, or social, can impede intellectual progress and constrain societal development.

Institutional Autonomy
Institutional autonomy refers to the independence of universities and research institutions in governance, curriculum design, faculty appointments, and research agendas. Autonomy enables institutions to create environments conducive to academic freedom, balance internal and external pressures, and uphold standards of excellence and integrity.

Comparative Conceptual Models
Academic freedom manifests differently across national and regional contexts, reflecting historical legacies, legal frameworks, and cultural norms.
United States
In the United States, academic freedom is closely linked to constitutional protections under the First Amendment and institutional tenure systems. Faculty enjoy robust legal safeguards to express controversial opinions, conduct research, and teach freely. American universities emphasize individual scholar autonomy, balanced with peer accountability and institutional oversight.

Europe
European models often emphasize institutional autonomy as the primary mechanism for protecting academic freedom. National laws and university statutes provide frameworks for governance, curriculum design, and faculty appointments. Freedom of expression and research is protected through legislation and European human rights instruments, with a strong emphasis on the collective rights of institutions.

Asia and the Global South

In many Asian and Global South countries, academic freedom is often constrained by state oversight, political priorities, or resource limitations. Legal protections may exist in constitutions or higher education laws, but enforcement is inconsistent. Cultural norms, government policies, and economic pressures influence the extent to which scholars can exercise academic freedom, highlighting the need for context-sensitive approaches.

Debates and Controversies

The exercise of academic freedom is inherently contested, reflecting tensions between individual liberty, societal responsibility, and institutional governance. Key debates include:

- **Freedom vs. Responsibility:** Scholars must balance the right to pursue knowledge with ethical and societal obligations. Excessive freedom without accountability can lead to misconduct, bias, or social harm.
- **Individual vs. Institutional Rights:** Tensions may arise between faculty autonomy and institutional priorities, including strategic research agendas, curriculum objectives, or financial sustainability.
- **Academic Freedom vs. Societal Norms:** Freedom of inquiry may conflict with cultural, religious, or political norms, raising questions about the limits of expression and the role of universities in society.
- **Commercialization and Market Pressures:** Dependence on corporate funding or market-oriented policies can compromise research agendas, creating conflicts between academic freedom and economic imperatives.

These debates underscore that academic freedom is dynamic, context-dependent, and continuously negotiated between multiple stakeholders.

This study has established the conceptual foundations of academic freedom, situating it at the intersection of philosophy, law, ethics, sociology, and institutional governance. Academic freedom encompasses the freedom to teach, research, publish, and govern institutions independently, and is informed by liberal, Humboldtian, and sociological theories. Comparative models highlight variations in legal protections, institutional autonomy, and cultural contexts across the globe.

The paper also identified key debates and tensions that define the exercise of academic freedom, emphasizing that it is neither absolute nor unbounded. Ethical, legal, and societal considerations shape its scope and implementation, creating a dynamic framework that responds to historical legacies, contemporary pressures, and emerging challenges.

The conceptual clarity established in this study provides a foundation for subsequent sub chapters, which will explore the historical evolution of academic freedom, legal frameworks, and contemporary global challenges. By situating academic freedom within a rigorous theoretical and comparative framework, this work contributes to a holistic understanding of its significance, vulnerabilities, and potential for sustaining higher education and knowledge production in the 21st century.

❖ Historical Evolution of Academic Freedom

The historical evolution of academic freedom provides crucial insight into how contemporary principles, legal frameworks, and institutional practices have developed over time. Academic freedom, as both a concept and practice, emerged in response to the tension between intellectual inquiry and external authority. Its historical trajectory reflects the dynamic interplay between universities, state power, religious institutions, and societal expectations.

Understanding this evolution requires examining key periods, including the medieval university system, Renaissance humanism, early modern institutional developments, and the modern research university. Regional variations, legal codifications, and sociopolitical contexts also played a decisive role in shaping academic freedom. The work traces this historical progression, highlighting both milestones and challenges, to illuminate how academic freedom has been conceptualized and institutionalized across centuries.

❖ Medieval Origins (12th–15th Centuries)

Emergence of Universities

The origins of academic freedom are closely tied to the development of medieval European universities, which emerged between the 12th and 15th centuries. Institutions such as **Bologna**, **Paris, Oxford,** and **Cambridge** became centers of learning and scholarly communities, primarily focused on theology, law, and medicine.

Medieval universities were granted charters by monarchs or the church, establishing privileges that protected scholars from certain forms of external interference. One of the earliest forms of academic freedom was the concept of **clerical immunity**, which allowed scholars to be governed by ecclesiastical courts rather than secular authorities. This protection enabled intellectual debate, the pursuit of knowledge, and pedagogical innovation, albeit within the boundaries of religious orthodoxy.

Scholastic Method and Intellectual Autonomy

The scholastic method, prevalent in medieval universities, emphasized dialectical reasoning, rigorous debate, and logical inquiry. While theology remained the dominant discipline, scholars sought intellectual autonomy to examine philosophical questions, natural phenomena, and ethical dilemmas. Academic freedom during this period was thus both a legal privilege and an intellectual necessity.

Despite these protections, scholarly activity was constrained by religious orthodoxy and political authority. Dissenting views were often met with censure or persecution, reflecting the limited scope of medieval academic freedom. Nonetheless, the establishment of charters, faculties, and self-governing structures laid the foundation for subsequent developments in intellectual autonomy.

❖ Renaissance and Early Modern Period (15th–17th Centuries)

Humanism and Secular Inquiry

The Renaissance marked a critical shift in academic culture, emphasizing humanism, empirical observation, and secular learning. Scholars such as **Erasmus**, **Copernicus**, and **Galileo** challenged traditional authorities and explored new scientific and philosophical ideas. Academic freedom began to expand beyond theological discourse to encompass natural philosophy, medicine, and the arts.

Humanist principles emphasized the intrinsic value of education, the pursuit of truth, and the cultivation of rational judgment. Universities increasingly became spaces where intellectual inquiry could challenge dogma, although scholars often faced political or ecclesiastical sanctions for controversial work. The Renaissance thus represents a formative period in the conceptual expansion of academic freedom, highlighting the tension between innovation and authority.

Early Legal Protections

During this period, some universities codified protections for scholars. For example, the **University of Paris** established statutes that granted faculty certain rights to self-governance, freedom of teaching, and exemption from local judicial authority. Similar arrangements emerged in Italian, English, and Spanish universities, reflecting a growing recognition of the need to shield intellectual activity from external pressures.

Despite these developments, academic freedom remained fragile. Political, religious, and social constraints limited the scope of inquiry, and scholars often faced personal risk when challenging dominant paradigms. Nonetheless, the Renaissance set the stage for the emergence of modern research universities and the legal codification of academic freedoms.

❖ The Rise of Modern Universities (18th–19th Centuries)

Enlightenment Influence

The Enlightenment introduced a new intellectual ethos emphasizing reason, individual liberty, and empirical inquiry. Thinkers such as **Voltaire, Rousseau,** and **Kant** influenced the development of modern universities, promoting the idea that education should cultivate independent judgment and critical thinking.

This period saw increasing advocacy for academic freedom as a fundamental right of scholars. Debates focused on the balance between institutional authority, state oversight, and individual intellectual autonomy. Scholars argued that universities must serve as centers of knowledge and critical inquiry, insulated from political interference and ideological control.

Humboldtian University Model

The 19th-century **Humboldtian model**, pioneered by Wilhelm von Humboldt in Germany, represents a cornerstone in the institutionalization of academic freedom. Humboldt envisioned universities as spaces for both research and teaching, where scholars could pursue knowledge freely, guided by intellectual curiosity and ethical responsibility.

Key principles of the Humboldtian model include:

- **Unity of Research and Teaching:** Scholars engage in teaching as a direct extension of research, ensuring intellectual rigor and innovation.
- **Freedom of Inquiry:** Researchers are autonomous in selecting topics, methods, and approaches.
- **Moral and Social Responsibility:** Academic freedom is exercised within an ethical framework, emphasizing the scholar's duty to society.

This model profoundly influenced European and North American universities, establishing a conceptual and practical foundation for modern academic freedom.

American Higher Education and Legal Protections

In the United States, academic freedom evolved alongside the development of research universities in the late 19th and early 20th centuries. Key developments include:

- **Tenure Systems:** Tenure provided faculty with job security, protecting them from arbitrary dismissal and enabling intellectual independence.
- **Legal Recognition:** Landmark cases such as **Keyishian v. Board of Regents (1967)** affirmed that academic freedom is a special concern of the First Amendment, extending constitutional protection to teaching and research activities.
- **Professional Norms:** The American Association of University Professors (AAUP) codified principles of academic freedom, emphasizing the autonomy of faculty in research, teaching, and public expression.

These developments illustrate the institutionalization of academic freedom as both a legal right and a professional norm, establishing a model that continues to shape global higher education practices.

20th-Century Expansion and Internationalization

Post-War Legal Codifications

The aftermath of World War II catalyzed global recognition of academic freedom as a fundamental human right. International organizations, particularly UNESCO, emphasized its importance for democracy, human development, and knowledge production. Key instruments include:

- **Universal Declaration of Human Rights (UDHR, 1948):** Articles 19 and 26 affirm freedom of expression, access to education, and the pursuit of knowledge.
- **International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights (ICESCR, 1966):** Recognizes the right to education and freedom to conduct research.
- **UNESCO Recommendations (1997):** Provide detailed guidelines on academic freedom, institutional autonomy, and protection of teaching personnel.

These instruments established normative benchmarks for national legislation, institutional policies, and international collaboration, embedding academic freedom in the global human rights discourse.

Regional Variations

Academic freedom evolved differently across regions, reflecting historical, political, and cultural contexts:

- **Europe:** Emphasis on institutional autonomy, academic governance, and alignment with European human rights frameworks.
- **North America:** Focus on individual faculty rights, tenure protection, and First Amendment jurisprudence.
- **Asia and Global South:** Varied experiences, often constrained by political oversight, colonial legacies, or limited institutional capacity.

These regional differences highlight the interplay between legal, institutional, and cultural factors in shaping academic freedom.

Cold War and Ideological Pressures

The Cold War period revealed the vulnerability of academic freedom to ideological and political interference. Scholars in both Western and Eastern blocs faced pressures to align research with state interests, adhere to ideological doctrines, or avoid politically sensitive topics. Despite these pressures, academic freedom persisted as a normative ideal, informing legal reforms, institutional governance, and international advocacy.

❖ Contemporary Developments in the 21st Century

Globalization and Knowledge Economies

Globalization has transformed higher education, research, and intellectual exchange, creating both opportunities and challenges for academic freedom. Scholars increasingly operate in international networks, collaborate across borders, and contribute to knowledge economies. While globalization expands intellectual horizons, it also introduces pressures related to funding, commercial partnerships, and political oversight.

Technological Advancements

Digital technologies, including online education, open-access publishing, and artificial intelligence, have reshaped academic practices. These tools enable broader dissemination of knowledge but also pose risks related to surveillance, data privacy, and intellectual property. The exercise of academic freedom in digital environments requires new legal, ethical, and institutional frameworks to balance innovation and protection.

Political, Social, and Economic Pressures

Academic freedom faces growing challenges from political polarization, social scrutiny, and economic constraints:

- **Political Pressures:** Government policies, censorship, and ideological oversight continue to restrict freedom in many countries.
- **Social Pressures:** Public opinion, social media, and "cancel culture" influence scholarly expression and research agendas.
- **Economic Pressures:** Funding dependence, market-driven policies, and commercialization of research can compromise autonomy.

These contemporary developments illustrate the dynamic, contested nature of academic freedom, emphasizing the need for resilient legal protections, institutional governance, and ethical norms.

Milestones and Key Case Studies

Historical milestones and case studies illustrate the evolving recognition and protection of academic freedom:

- **Medieval Charters:** Bologna and Paris universities established early protections against secular and ecclesiastical interference.
- **Humboldtian Reforms:** German universities codified research-teaching unity and autonomy in the 19th century.
- **AAUP Principles (1915, 1940):** Codified faculty rights and responsibilities in the United States.
- **UNESCO Recommendations (1997):** Established global guidelines on institutional autonomy and academic freedom.
- **Landmark Legal Cases:** U.S. Supreme Court and European Court of Human Rights rulings reinforced protections for faculty speech, research, and institutional governance.

These examples demonstrate that academic freedom has been shaped through both institutional innovation and legal codification, reflecting evolving societal expectations and intellectual priorities.

The historical evolution of academic freedom reveals a trajectory from limited privileges in medieval universities to comprehensive legal, institutional, and international protections in the contemporary era. Key themes include:

- The persistent tension between intellectual autonomy and external authority.
- The interplay between legal frameworks, institutional governance, and societal norms.
- Regional variations reflecting political, cultural, and historical contexts.
- The adaptation of academic freedom to contemporary challenges, including globalization, technological change, and social pressures.

Contemporary Challenges to Academic Freedom

Academic freedom, though historically established and legally codified, faces unprecedented challenges in the 21st century. Contemporary pressures emanate from globalization, political interference, commercialization of higher education, social and cultural dynamics, and rapid technological advances. These forces interact in complex ways, shaping the environment in which scholars, students, and institutions operate.

Understanding these contemporary challenges is essential for developing strategies to protect academic freedom, ensuring the autonomy of research and teaching, and safeguarding universities as centers of critical inquiry and innovation. This chapter examines these challenges in detail, highlighting their manifestations, implications, and potential responses within global and local contexts.

Political Pressures and Ideological Interference

Political interference remains one of the most significant threats to academic freedom worldwide. While legal frameworks and institutional policies may provide formal protections, enforcement is often uneven, and the practical exercise of freedom can be constrained by government policies, regulatory oversight, and ideological control.

Authoritarianism and State Control

In countries with authoritarian regimes, academic freedom is often subordinated to state interests. Governments may control curricula, research agendas, faculty appointments, and publication processes to align academic output with political objectives. Examples include restrictions on research in political science, sociology, history, or law when findings may challenge governmental narratives or policies.

Such interference can take multiple forms:

- Censorship of publications or research findings.
- Dismissal or harassment of faculty expressing dissenting opinions.
- Restrictive licensing or accreditation procedures limiting institutional autonomy.

These measures not only curtail individual freedoms but also compromise the intellectual integrity and societal contribution of higher education institutions.

Political Polarization

Even in democratic contexts, political polarization can indirectly threaten academic freedom. Scholars may face pressure to conform to prevailing ideological trends, self-censor controversial ideas, or avoid politically sensitive research topics. Media scrutiny and public debate may exacerbate these pressures, creating an environment of uncertainty and caution.

National Security and Surveillance

The post-9/11 security environment has introduced additional pressures on academic freedom, particularly in research involving sensitive technologies, international collaboration, or social studies. Governments may impose restrictions or surveillance on scholars engaged in fields such as computer science, artificial intelligence, or political research, citing national security concerns. These measures, while intended to protect security, can conflict with the principle of open inquiry, limiting both research scope and intellectual diversity.

Globalization and the Knowledge Economy
Globalization has transformed higher education and research, creating both opportunities and challenges for academic freedom.

Cross-Border Collaboration and Competition
Global academic networks encourage collaboration, knowledge sharing, and cross-cultural research. However, globalization also exposes scholars and institutions to international pressures, including:

- Compliance with foreign funding requirements that may influence research agendas.
- Expectations of international rankings and performance metrics, potentially constraining research autonomy.
- Intellectual property agreements that may restrict open dissemination of knowledge.

Marketization of Higher Education
Higher education is increasingly treated as a market-driven enterprise, with universities competing for funding, students, and research contracts. This commercialization can compromise academic freedom by:

- Prioritizing research with immediate economic returns over fundamental or critical inquiry.
- Influencing teaching curricula to align with market demands rather than intellectual rigor.
- Encouraging self-censorship among faculty to maintain funding or institutional reputation.

While financial sustainability is critical for universities, the marketization of higher education introduces tensions between commercial imperatives and scholarly autonomy.

Internationalization and Cultural Tensions
Globalization also brings cultural and ideological diversity into universities. While diversity enriches academic discourse, it can lead to tensions regarding values, norms, and freedom of expression. Scholars may face conflicting expectations between local cultural sensitivities and international norms of academic freedom, complicating the exercise of intellectual autonomy.

Social and Cultural Pressures
Societal norms, public opinion, and cultural expectations influence the exercise of academic freedom, sometimes subtly but profoundly.

Public Scrutiny and Media Influence
The rise of social media and instant communication has intensified public scrutiny of academic activity. Scholars may face backlash for expressing controversial ideas, conducting sensitive research, or challenging societal norms. This environment fosters self-censorship and can limit critical debate, particularly in politically or socially charged topics.

Identity Politics and Cancel Culture
Debates surrounding diversity, inclusion, and identity politics present both opportunities and challenges for academic freedom. While promoting representation and equity is essential, the expectation that scholarship align with prevailing social or ideological norms can constrain

freedom of inquiry. Faculty may feel compelled to avoid controversial topics or moderate their discourse to prevent reputational or professional consequences.

Ethical Responsibilities and Social Accountability

Academic freedom is not absolute; scholars have ethical obligations to society. Research involving human subjects, environmental impact, or public policy requires balancing autonomy with ethical responsibility. Navigating these obligations in the contemporary era, especially under public scrutiny, presents a nuanced challenge: protecting intellectual freedom while maintaining social accountability and ethical standards.

Economic and Institutional Pressures

Economic pressures, resource constraints, and institutional governance structures directly impact academic freedom.

Funding Dependencies

Universities increasingly rely on external funding from government agencies, corporations, and philanthropic organizations. While these resources are essential, they can influence research priorities, restrict autonomy, and introduce conflicts of interest. Scholars may prioritize fundable topics or frame research to meet sponsor expectations, potentially limiting critical or exploratory inquiry.

Institutional Governance

Internal governance structures affect how academic freedom is exercised:

- Centralized decision-making may limit faculty participation in curriculum design and research planning.
- Performance evaluation systems emphasizing publication metrics or grant acquisition may prioritize productivity over intellectual autonomy.
- Leadership policies may inadvertently constrain debate, dissent, or interdisciplinary research initiatives.

Global Rankings and Accountability Metrics

Universities compete globally for reputation, rankings, and prestige. Metrics focusing on research output, citations, and graduate employability can create pressures to conform research and teaching activities to externally imposed standards. This environment may marginalize critical, long-term, or exploratory research that does not align with quantitative metrics, thereby indirectly limiting academic freedom.

Technological Challenges

Technological advancement presents both opportunities and threats to academic freedom.

Digital Surveillance and Data Privacy

Digital tools, including learning management systems, online research platforms, and communication technologies, increase transparency but also facilitate surveillance. Governments and institutions may monitor scholarly activities, emails, and online publications, raising concerns about privacy and freedom of inquiry. Scholars may self-censor in digital environments, limiting the scope of research and debate.

Artificial Intelligence and Research Automation

The integration of AI in research and teaching introduces ethical and practical challenges:

- Algorithms may bias research findings or restrict access to information.
- Automated evaluation systems may inadvertently penalize unconventional or interdisciplinary research.
- Intellectual property and authorship issues arise as AI contributes to scholarly work.

These technological dynamics necessitate updated legal, ethical, and institutional safeguards to protect academic freedom in evolving digital contexts.

Open Access and Knowledge Dissemination

While open-access platforms democratize knowledge, they also expose scholars to intellectual property disputes, predatory publishing, and online harassment. Ensuring freedom to publish while protecting authors' rights and reputation is an emerging challenge in the digital age.

Case Studies of Contemporary Challenges

Several case studies illustrate contemporary pressures on academic freedom globally:

Political Interference in Authoritarian Contexts

In countries with restricted political environments, universities may face state-imposed research agendas. Faculty dissent or critical publications can result in sanctions, dismissal, or exile. These cases highlight the vulnerability of academic freedom in politically controlled systems.

Commercialization Pressures in Western Universities

In North America and Europe, the increasing reliance on corporate funding has influenced research priorities. Case studies show that projects with commercial potential receive preferential funding, while fundamental research or critical social studies may be underfunded, demonstrating how economic imperatives can shape academic inquiry.

Social Media Backlash and Cancel Culture

Scholars in multiple countries have faced professional and reputational consequences for expressing controversial views online. These incidents illustrate how societal scrutiny, amplified by digital platforms, can create an environment of self-censorship and limit the diversity of academic discourse.

Technological Threats to Research Autonomy

Examples of AI-driven evaluation and surveillance illustrate the potential for digital systems to influence scholarly output. Scholars may adjust research topics or methodologies to align with algorithmically determined standards, impacting intellectual autonomy and innovation.

Strategies for Mitigating Challenges

Addressing contemporary challenges requires multi-level strategies:

Legal and Policy Measures

- Strengthen international human rights instruments and national legislation to explicitly protect academic freedom.
- Enforce existing laws through independent judiciary and monitoring mechanisms.
- Incorporate academic freedom provisions into institutional charters and codes of conduct.

Institutional Governance

- Promote collegial and participatory governance structures.
- Ensure transparent, merit-based faculty appointments and evaluations.
- Develop policies balancing accountability with intellectual autonomy.

Ethical and Professional Norms

- Integrate ethics training in research and teaching to guide responsible exercise of freedom.
- Encourage peer review and professional oversight to maintain scholarly integrity.
- Foster a culture of open debate while respecting diversity and inclusion.

Technological Adaptation

- Implement data privacy and cybersecurity measures to protect scholars' work.
- Develop guidelines for responsible use of AI and digital platforms in research.
- Promote equitable access to open-access resources and digital dissemination channels.

International Collaboration and Advocacy

- Engage global networks, such as UNESCO, the IAU, and academic associations, to monitor threats and promote best practices.
- Develop cross-border alliances to support scholars facing political or social persecution.
- Advocate for global standards and accountability mechanisms to ensure academic freedom in diverse contexts.

The 21st century presents complex and multifaceted challenges to academic freedom. Political interference, ideological pressures, globalization, commercialization, social scrutiny, and technological transformation interact to shape the contemporary academic environment. While legal frameworks, institutional policies, and ethical norms provide formal protections, these challenges necessitate adaptive strategies and continuous vigilance.

Academic freedom remains essential for the pursuit of knowledge, the advancement of society, and the functioning of democratic institutions. Protecting it requires coordinated efforts at international, national, institutional, and individual levels. By understanding and addressing contemporary challenges, universities and scholars can sustain intellectual autonomy, foster critical inquiry, and ensure the continued vitality of higher education in a rapidly changing global landscape.

An Imperative for Vigilance and Advocacy

The scientific discourse on academic freedom reveals a concept both timeless and urgently contemporary. Its historical evolution shows it to be a hard-won achievement, perpetually susceptible to regression. Its legal codification provides essential scaffolding, but as contemporary challenges demonstrate, laws alone are insufficient.

The preservation and enhancement of academic freedom in the 21st century require a concerted, multi-level response. Institutions must move beyond symbolic declarations to embed protective cultures and concrete mechanisms. The academic community must uphold its ethical duties while defending colleagues under threat. Scholars must engage in public discourse to demonstrate the societal value of free inquiry. International networks must provide solidarity and monitoring, utilizing tools like the Academic Freedom Index to hold regimes accountable.

The academic freedom is not an academic concern alone. It is a foundational element of a free, innovative, and self-critical society. Its defense is therefore a collective responsibility, essential for navigating the complex challenges of the future and for ensuring that the university remains a sanctuary for the critical mind and a beacon for human progress.

Public engagement and media visibility represent another domain in which the results reveal heightened tension. Academics are increasingly expected to contribute to public discourse, yet public visibility exposes them to politicized scrutiny, misrepresentation, and harassment. The discussion indicates that institutional responses to such pressures are pivotal. Institutions that fail to defend scholars facing external attacks contribute to climates of fear and silence, whereas supportive responses reinforce academic freedom as a collective institutional value. This result emphasizes that academic freedom extends beyond internal academic settings into the public sphere.

Internationalization yields ambivalent results for academic freedom. On the one hand, cross-border collaboration enhances intellectual exchange and diversifies perspectives. On the other hand, geopolitical tensions, security regulations, and transnational governance introduce new constraints. The discussion shows that academic freedom increasingly operates within a global system characterized by asymmetries of power, where scholars from less resourced regions face additional barriers to participation and recognition. These findings highlight the importance of viewing academic freedom as a global public good requiring international cooperation and solidarity.

Quality assurance and accreditation mechanisms emerge as double-edged instruments. The results indicate that well-designed quality assurance frameworks can support academic freedom by safeguarding standards and institutional credibility. However, overly prescriptive or standardized approaches risk constraining pedagogical and research autonomy. The discussion stresses that proportionality and contextual sensitivity are essential to aligning quality assurance with academic freedom rather than positioning them in opposition.

Ethical governance frameworks yield similarly nuanced results. Ethical oversight is indispensable for responsible research, yet excessive bureaucratization can inhibit legitimate inquiry. The discussion demonstrates that ethical regulation best supports academic freedom when it operates through transparent, dialogical, and proportionate procedures that recognize disciplinary diversity and researcher expertise.

Across all dimensions examined, the results converge on the finding that academic freedom in the twenty-first century is increasingly relational, contextual, and process-oriented. It is shaped by interactions among law, governance, economics, technology, and culture rather than determined by any single factor. The discussion emphasizes that threats to academic freedom often emerge incrementally through cumulative policy shifts and institutional practices rather than through overt repression.

In synthesizing these results, the discussion advances the interpretation that academic freedom must be understood as a dynamic institutional achievement rather than a static legal guarantee. Its protection requires continuous engagement by states, institutions, academic communities, and society at large. Legal frameworks must be translated into operational safeguards, institutional governance must remain participatory and transparent, and academic cultures must value pluralism and critical debate.

The results also suggest that effective protection of academic freedom is inseparable from broader commitments to democracy, social justice, and knowledge integrity. Where democratic norms erode, academic freedom tends to weaken; where inequality and precarity intensify, academic freedom becomes unevenly distributed. Conversely, environments characterized by trust, inclusion, and institutional accountability are more likely to sustain robust academic freedom.

The investigation into the scientific discourse surrounding academic freedom reveals a complex and perpetually contested ideal, one that is foundational to the modern university yet perpetually

unstable. Analysis of its conceptual foundations, historical trajectory, legal incarnations, and contemporary pressures demonstrates that academic freedom is not a monolithic or static principle but a dynamic field of negotiation. It exists in a constant state of tension between the autonomy of the scholarly profession and the demands of political authority, economic forces, and societal expectations. The discourse does not yield a single, universal definition but rather a constellation of interrelated rights, responsibilities, and justifications that are continually reshaped by their historical and geopolitical context.

Conceptual Foundations of Academic Freedom: The Dual Pillars of Liberty and Duty

The scholarly discourse grounds academic freedom in two primary, often interwoven, philosophical justifications: one based on individual rights and the other on social utility. The first, deeply influenced by Enlightenment ideals of free thought and expression, posits academic freedom as a special category of the fundamental human right to seek and impart knowledge. From this perspective, the scholar's liberty is an end in itself, essential for intellectual integrity and personal autonomy. The German concept of *Lehrfreiheit* and *Lernfreiheit* (freedom to teach and freedom to learn), as articulated by Wilhelm von Humboldt in the early 19th century, embodies this ideal, envisioning the university as a community of scholars and students engaged in unfettered inquiry (*Wissenschaft*), removed from the immediate dictates of the state or church.

The second, more utilitarian justification argues that society grants academics exceptional freedoms because of the unique social benefit their work produces. This view, powerfully articulated by the American Association of University Professors (AAUP) in its seminal 1915 and 1940 statements, frames academic freedom as a functional necessity for the advancement of knowledge, which in turn drives technological progress, informed democratic governance, and cultural enrichment. Here, the freedom of the academic is inextricably linked to a corresponding duty: the duty to pursue truth with rigor, to subject conclusions to peer scrutiny, and to distinguish carefully between expert knowledge and personal opinion. This creates the foundational paradox of academic freedom: it is a privilege granted to a profession precisely because that profession submits to the disciplined and methodological pursuit of truth, a form of autonomy that is paradoxically predicated on a commitment to strict epistemic norms.

The discourse distinguishes between individual and institutional dimensions. Individual academic freedom protects the scholar's right to research, teach, speak, and publish without fear of institutional retaliation. Institutional autonomy, conversely, refers to the university's collective right to govern its own affairs—determining curricula, appointing faculty, and allocating resources—free from undue external interference. While these two dimensions are mutually reinforcing, tension is inherent. A strong institutional autonomy can shield individual scholars from outside pressures, but it can also empower university administrations to impose internal restrictions on faculty, creating a locus of control that may be as potent as any external force.

Historical Evolution: A Non-Linear Progression of Conflict and Consolidation

Tracing the historical evolution of academic freedom reveals a narrative that is neither linear nor uniformly progressive. Its emergence is intimately tied to the historical development of the university as an institution. In medieval Europe, universities secured early forms of corporate autonomy through papal and royal charters, primarily to regulate their internal affairs and protect their members. However, this autonomy was bounded by theological orthodoxy. The Enlightenment and the rise of the research university, most notably the Humboldtian model of

the University of Berlin (1810), marked a pivotal shift. Here, the state supported the university's freedom in the belief that pure, disinterested research would ultimately strengthen the nation—a fragile compact between intellectual liberty and state power.

The modern conceptualization of academic freedom, particularly in the Anglo-American tradition, was forged in the fires of conflict. The late 19th and early 20th centuries witnessed numerous cases in the United States where trustees dismissed professors for espousing controversial views on economics, religion, or politics. The founding of the AAUP and its meticulous documentation of such violations were direct responses to these crises. The AAUP's framework, which linked freedom to professional competence and due process, sought to legitimize academic liberty not as a gift from employers but as a condition of professional employment. This professionalization of the concept was a critical historical development, embedding it in the norms of a specific occupational community.

The 20th century presented diverse trajectories. In totalitarian regimes, academic freedom was systematically eradicated, with scholarship subordinated to ideological purity under fascism and communism. The Cold War era presented a more ambiguous landscape in democratic societies: while academic freedom was rhetorically championed as a hallmark of the "free world," it was simultaneously curtailed by loyalty oaths and McCarthyist pressures, demonstrating its vulnerability even in its supposed heartlands. The post-war expansion of higher education and the growing authority of the academic profession in many Western nations led to a period of relative consolidation. However, this consolidation was always partial and contested, as subsequent challenges from student activism in the 1960s and the culture wars of the 1980s and 1990s would prove. The historical record thus shows academic freedom to be a recurrent achievement, never permanently secured, and always reflective of broader political and cultural struggles.

Legal Frameworks: Between Constitutional Shields and Statutory Constraints

The legal embodiment of academic freedom varies profoundly across jurisdictions, reflecting distinct constitutional traditions and political cultures. In some nations, it enjoys explicit constitutional protection. Germany's Basic Law (*Grundgesetz*), for instance, guarantees artistic and scientific freedom in Article 5, a direct legacy of the Humboldtian ideal and a historical reaction to Nazi abuses. This places it on the level of a fundamental right, enforceable by courts. Similarly, the constitutions of several post-authoritarian states, like South Africa and Chile, explicitly enshrine university autonomy and academic freedom as safeguards against a return to repression.

In other contexts, notably the United States, academic freedom derives its legal force indirectly. It is not explicitly mentioned in the U.S. Constitution but has been recognized by the Supreme Court as a "special concern of the First Amendment." In landmark decisions such as *Keyishian v. Board of Regents* (1967), the Court stated that academic freedom is "a transcendent value to all of us" and that the nation's future depends upon the free trade in ideas within the "marketplace of ideas" that universities represent. This judicial construction provides strong protection, particularly against state intrusion, but it remains a judicially crafted doctrine rather than a textual right.

In many countries, the legal framework is primarily statutory, defined by education acts and university charters. This can create a more precarious situation, where protections are contingent on political majorities and can be amended or diluted. Furthermore, legal frameworks universally establish limits. The discourse acknowledges that academic freedom is not absolute. It is typically bounded by laws concerning libel, national security (though this is

a highly contentious boundary), research ethics (e.g., involving human subjects), and professional standards of conduct. The critical legal debates revolve not around the existence of limits, but around their scope, who defines them, and whether they are applied in a viewpoint-neutral manner or serve to suppress disfavored ideas.

A significant contemporary legal development is the increasing influence of transnational bodies. The United Nations Committee on Economic, Social and Cultural Rights, in its General Comment No. 13, recognizes academic freedom as an essential component of the right to education. The European Court of Human Rights has ruled on cases involving academic expression under Article 10 of the European Convention. These supranational legal mechanisms provide additional avenues for redress and help to foster a global normative standard, even as actual practice remains fiercely localized.

Contemporary Global Challenges of Academic Freedom in the 21st Century

The 21st-century landscape presents a multifront assault on the traditional bastions of academic freedom, challenging its conceptual foundations and testing its legal protections with unprecedented intensity. These challenges are interconnected and often exacerbated by digital technologies and globalized political currents.

The Neoliberal University and Managerialism: Perhaps the most pervasive structural challenge arises from the transformation of higher education by neoliberal policies. The reconceptualization of students as consumers and knowledge as a market commodity has led to a rise in audit cultures, performance metrics, and top-down managerial governance. This environment can erode academic freedom subtly but profoundly. Research agendas may be steered toward commercially viable or grant-attractive topics at the expense of curiosity-driven, critical, or long-term inquiry. Teaching can be constrained by customer-satisfaction surveys and standardized curricula designed for marketability. The casualization of academic labor—replacing tenured faculty with precarious adjuncts—fundamentally undermines the security necessary for scholars to take intellectual risks. In this context, academic freedom can become an empty slogan, preserved in form but hollowed out by the economic and administrative realities of the institution.

Political Authoritarianism and Populist Nationalism: A stark and resurgent challenge comes from explicitly anti-pluralist political forces. In countries like Hungary, Turkey, China, Russia, and Brazil, among others, governments have directly attacked institutional autonomy, placing loyalists in leadership, rewriting curricula to promote nationalist or ideological narratives, cutting funding to critical departments, and legislating restrictions on research and teaching in areas deemed politically sensitive (e.g., gender studies, critical race theory, or certain historical narratives). Scholars face job loss, criminal prosecution, and harassment for dissent. This represents a return to a pre-modern model where the university is explicitly an instrument of state ideology, negating the core Humboldtian compact.

Digitization and Transnational Repression: Digital technologies create new vulnerabilities. Online harassment and “doxxing” campaigns can silence scholars, particularly women and minorities, outside of formal institutional channels. Surveillance technologies, both state and commercial, chill research on sensitive topics. Moreover, authoritarian states now exercise transnational repression, threatening scholars in exile or their families abroad, thereby extending the reach of censorship beyond their own borders. Conversely, digital platforms also

offer new avenues for disseminating scholarship and circumventing censorship, creating a complex, dual-edged dynamic.

Cultural Conflicts and the "Culture Wars": Within many democracies, academic freedom is at the center of intense cultural and political debates. Challenges arise from both ends of the political spectrum. From the right, accusations of left-wing ideological hegemony on campuses have led to legislative efforts to ban the teaching of concepts like critical race theory or to mandate "intellectual diversity," often seen by academics as politically motivated intrusions into curricular content. From the left, demands for safe spaces and trigger warnings, and debates over cancel culture and deplatforming, raise difficult questions about the limits of free inquiry when it clashes with commitments to inclusivity, social justice, and protection from harm. The discourse grapples with whether certain forms of speech constitute scholarly debate or themselves amount to harassment or discrimination, and who holds the authority to make such distinctions.

Global Crises and Securitization: Issues like climate change, pandemics, and terrorism have placed scientific expertise in the political spotlight. While this can elevate the public role of scholars, it also subjects them to intense scrutiny, vitriol, and pressure. Research on climate change is routinely attacked by vested interests. Public health scientists faced political interference and public abuse during the COVID-19 pandemic. Research related to national security is increasingly securitized, with barriers to international collaboration and growing concerns about espionage, leading to a rise in racial profiling and suspicion, particularly targeting scholars of Asian descent in Western countries.

Synthesis and Paths Forward

The scientific discourse on academic freedom thus presents a picture of a principle under severe and evolving strain. Its historical and conceptual analysis reveals that its strength has never been inherent but has always depended on a fragile coalition of support: from the state (which seeks the benefits of knowledge), the public (which trusts in the integrity of the profession), and the academics themselves (who uphold their fiduciary duty to the truth). In the 21st century, each pillar of this coalition is weakening in many parts of the world.

The discourse suggests that a robust defense of academic freedom in this new era requires moving beyond its traditional, sometimes insular, formulations. First, it must be more effectively linked to its social utility argument, communicating to the public not just the rights of academics, but why those rights are essential for tackling global challenges, fostering innovation, and sustaining democratic resilience. Second, the defense must be institutional as well as individual, advocating for governance models and funding structures that insulate the core research and teaching missions from short-term political and market pressures. Third, the global academic community must strengthen its solidarity networks, providing material and moral support to besieged colleagues worldwide and leveraging transnational legal and professional bodies.

Ultimately, the discourse concludes that academic freedom is not a privilege of the academy but a condition for the possibility of reliable knowledge. Its erosion is therefore not merely a professional concern but a civilizational one. The tumult of the 21st century, with its polycrises and epistemic confusion, makes the need for spaces of disciplined, uncompromised inquiry more urgent than ever. The future of this centuries-old ideal will depend on the ability of the academic profession and its allies to reinterpret its foundations, learn from its historical

vicissitudes, fortify its legal protections, and mount a courageous, coherent defense against the multifaceted challenges it now confronts. The scientific discourse itself, through its rigorous and ongoing examination, remains a vital tool in that essential endeavor.

❖ **The Scientific Discourse on Academic Freedom: A Comprehensive Discussion**

The Contested Ideal

Academic freedom is widely hailed as the lifeblood of higher education and a cornerstone of liberal democracy. It is the principle that facilitates the unfettered pursuit, dissemination, and critique of knowledge. Yet, it remains one of the most vigorously contested and imperfectly realized ideals within the scholarly ecosystem. The discourse surrounding it is not monolithic but a rich tapestry of philosophical claims, historical struggles, legal codifications, and urgent contemporary debates. This discussion seeks to unravel this complex tapestry by exploring four interconnected dimensions: the **conceptual foundations** that justify its existence; the **historical evolution** that charts its arduous path from privilege to right; the **legal and institutional frameworks** that seek to operationalize and protect it; and the **contemporary global challenges** that threaten its very fabric in the 21st century. Drawing upon national policy documents, such as Georgia's guidelines, not as an endpoint but as a locus of application, we will interrogate whether traditional defenses of academic freedom are sufficient to meet the novel pressures of a digital, globalized, and politically polarized age. Ultimately, this analysis argues that academic freedom must be understood not as a static inheritance but as a dynamic, vulnerable, and necessarily collective achievement requiring constant vigilance, redefinition, and defense.

Conceptual Foundations – Between Autonomy, Responsibility, and the Social Contract

At its core, the concept of academic freedom is built upon a foundational duality: the **autonomy of the institution** and the **liberty of the individual scholar**. These two pillars are interdependent but distinct, each requiring separate justification and protection.

Institutional Autonomy and the Sanctuary of Reason

The idea of the university as a *sanctuary* or *ivory tower*, while often critiqued, stems from a profound epistemic argument. Scholars from John Henry Newman to Karl Jaspers have posited that the unique mission of the university—the disinterested pursuit of truth for its own sake—requires insulation from the immediate demands of the market, the state, and public opinion. Institutional autonomy is the structural embodiment of this insulation. It grants universities the authority to govern their internal affairs: to appoint faculty based on scholarly merit, to design curricula informed by disciplinary logic rather than political expediency, and to determine research priorities through academic peer review. This autonomy creates a protected space where long-term inquiry, speculative thought, and challenging ideas can germinate without fear of swift external retribution. The Georgian guidelines implicitly endorse this view by linking institutional authorization standards to the declaration of principles protecting academic freedom, recognizing that the university's governance structure is the first line of defense.

Individual Liberty: Lehrfreiheit and Lernfreiheit

Within the walls of the autonomous institution, the freedoms of the individual activate its purpose. The classic German formulation distinguishes between:

➢ **Lehrfreiheit (Freedom to Teach):** The right of the qualified scholar to determine the content and method of instruction in their classroom and publications, guided solely by their expertise and conscience.

- **Lernfreiheit (Freedom to Learn):** The right of the student to pursue knowledge freely, to question received wisdom, and to form their own judgments, including the freedom to choose their field of study and courses.

Modern interpretations, as seen in Georgia's law, expand this to include the freedom to conduct research and disseminate its results. This individual liberty is justified on both consequentialist and deontological grounds. Consequentially, it leads to better science, more innovative solutions, and a more critically engaged citizenry. Deontologically, it is tied to the very nature of being a scholar; to compel a researcher to falsify conclusions or a teacher to propagate doctrines they believe false is an assault on their intellectual integrity and personal autonomy.

The Inextricable Link to Responsibility

However, the concept is rendered vacuous—and dangerous—if divorced from correlative responsibilities. Academic freedom is not an absolute right to say anything in any manner. It is a **conditional right** bound by professional and ethical norms. This is where guidelines wisely emphasize grounding freedom in "professional ethics" and "the best practices of the discipline."

- **Epistemic Responsibility:** Scholars are bound by methodological rigor, evidence, and the norms of their scholarly community. Freedom does not license the teaching of demonstrable falsehoods as truth (e.g., flat-earth theory in a geography department).
- **Pedagogical Responsibility:** The classroom is not a public soapbox; teaching freedom is exercised with consideration for student development, creating an environment of respect and intellectual challenge, not intimidation or indoctrination.
- **Social Responsibility:** Scholars have a duty to consider the potential social consequences of their work (e.g., dual-use research in biotechnology) and to engage with the public sphere to translate specialized knowledge for democratic deliberation.

The tension here is perennial and productive: how to balance the need for open, often disruptive inquiry with the need for scholarly accountability and social trust. The "social contract" of academia suggests that society grants autonomy and resources in exchange for the production of reliable knowledge, educated professionals, and informed social critique.

Intellectual Pluralism as a Core Component of Academic Freedom

A key conceptual advancement in modern guidelines is the explicit promotion of **intellectual pluralism** as a positive good. It moves beyond a negative liberty ("freedom from interference") to a positive cultural condition. As the Georgian text notes, this involves encouraging "the expression of a wide spectrum of ideas and different perspectives." This recognizes that the epistemic health of academia depends on cognitive diversity—the clash of competing hypotheses, methodologies, and worldviews. Protecting only popular or orthodox ideas requires no courage; the true test of academic freedom is the protection of minority, unpopular, or heretical viewpoints, provided they are advanced with scholarly seriousness. This pluralism is not relativism; it is the engine of scholarly progress through organized skepticism.

Historical Evolution – From Medieval Guild Privilege to Modern Human Right

The history of academic freedom is not a linear march of progress but a series of contingent struggles, often won in one era only to be threatened anew in the next. Its evolution reflects broader shifts in the relationship between knowledge, power, and authority.

Medieval Origins: Licentia Docendi and Corporate Privilege

The earliest roots lie in the medieval University of Bologna (c. 1088) and the University of Paris. The *licentia docendi* (license to teach) was initially controlled by the Church, the ultimate

arbiter of truth. However, universities quickly began to function as powerful corporate guilds (*universitas*), negotiating charters from popes and kings that granted them crucial privileges: the right to self-governance, to set curricula, and to be judged by their own courts. This **corporate autonomy** was a form of academic freedom, but it protected the institution as a collective more than the individual master. Scholars operated within a narrow theological framework, and deviation could mean excommunication or worse. The freedom was a privilege of the guild, not a right of the individual conscience.

The Humboldtian Revolution: The Unity of Research and Teaching

The modern concept was born in early 19th-century Germany, primarily through the vision of Wilhelm von Humboldt and the founding of the University of Berlin (1810). Humboldt's model radically fused research and teaching (*Einheit von Lehre und Forschung*). The professor was no longer merely a transmitter of established knowledge but an active creator of new knowledge. **Lehrfreiheit** meant the freedom to teach one's own research findings, and **Lernfreiheit** meant the student's freedom to roam the university in pursuit of *Wissenschaft* (scientific knowledge). This model linked academic freedom directly to the state, which funded the university as a means of national cultural and scientific advancement, promising non-interference in internal academic matters in return. This "buffer" model, however, proved precarious when the state's interests shifted.

The American Adoption and the Tenure System

The German model profoundly influenced American higher education. The pivotal moment came with the founding of the American Association of University Professors (AAUP) in 1915 and its seminal **1915 Declaration of Principles on Academic Freedom and Academic Tenure**. Written in response to dismissals of professors for pacifist or radical economic views, the declaration framed academic freedom as essential to the "common good" and established two key mechanisms:

- **Tenure:** A period of probation (typically 7 years) followed by continuous appointment, dismissible only for adequate cause or extraordinary financial exigency. Tenure was designed as the primary practical bulwark for intellectual liberty.
- **Professional Peer Review:** The AAUP insisted that scholars be judged only by competent peers in their discipline, not by trustees, donors, or the public on ideological grounds.

The 1940 **AAUP Statement of Principles**, co-authored with the Association of American Colleges, became the definitive U.S. standard, balancing freedom with the scholar's responsibility to be accurate, objective, and respectful of others' opinions.

The 20th Century: A Century of Fire

The 20th century served as a brutal testing ground, exposing both the fragility and resilience of the ideal.

- **Totalitarian Assaults:** In Nazi Germany and Stalinist USSR, universities were purged and subordinated to state ideology. Academic freedom was annihilated in favor of political conformity, demonstrating its incompatibility with totalitarianism.
- **The Cold War and McCarthyism:** In the United States, loyalty oaths and investigations by the House Un-American Activities Committee created a climate of fear, leading to dismissals and self-censorship. This period highlighted that democracies, too, could succumb to panic and suppress dissent.

- **Liberation and Expansion:** Post-1960s, academic freedom claims expanded to include student rights, the inclusion of marginalized perspectives (though often contested as "political correctness"), and its enshrinement in international law (e.g., the **UNESCO Recommendation of 1997**).

Globalization and Constitutional Enshrinement

The late 20th and early 21st centuries saw academic freedom increasingly recognized as a **fundamental human right** linked to freedom of thought and expression. Many new constitutions, like Georgia's (Article 27), explicitly guarantee it. This represents a significant evolution: from a professional privilege or institutional custom to a justiciable legal right held by individuals. This legalization, however, shifts the battle to courts and the quality of enforcement, a theme central to the implementation challenges discussed in national guidelines.

Legal Frameworks and Institutional Implementation – From Text to Practice

Having a right declared in a constitution or law is necessary but insufficient. The true measure of academic freedom lies in the **effectiveness of its implementation**. This requires a multi-layered framework involving international norms, national legislation, and, crucially, institutional policies and culture.

The International Framework: Soft Law and Normative Pressure

At the global level, academic freedom is protected primarily through "soft law"—declarations and recommendations that carry moral rather than binding legal force. The most significant is the **UNESCO Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel (1997).** It provides a comprehensive normative framework, detailing rights and responsibilities related to research, teaching, expression, and institutional participation. Other instruments, like the **International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights** (Article 15), support the right to benefit from scientific progress. While lacking enforcement teeth, these standards provide a powerful rhetorical and benchmarking tool for activists and accreditors. The Georgian guidelines' reference to the **Bologna Implementation Working Group** shows how these international norms filter into regional policy spaces like the European Higher Education Area.

National Legal Codification: The Case of Georgia as Microcosm

National law provides the enforceable backbone. Georgia's framework is illustrative of a modern approach:

- **Constitutional Anchor:** Article 27 guarantees academic freedom and institutional autonomy, raising it to the highest legal plane.
- **Statutory Definition:** The Law on Higher Education explicitly defines academic freedom for personnel and students, grounding it in the activities of teaching, research, and study.
- **Explicit Limitations:** Crucially, the law delineates specific, narrow grounds for permissible limitations (organizational matters, state secrets). This aligns with human rights law principles that any restriction must be **prescribed by law, necessary in a democratic society, and proportionate.** This prevents the invocation of vague "public order" or "national interest" claims to suppress dissent.
- **Link to Quality Assurance:** By tying institutional authorization (accreditation) standards to the declaration and protection of academic freedom principles, the state uses its regulatory power to incentivize compliance—a sophisticated regulatory approach.

The Institutional Imperative: Crafting the Protective Ecosystem

Laws set the boundaries, but the lived experience of freedom is determined within the university. Here, guidelines like Georgia's move from abstract principle to operational strategy. Key institutional responsibilities include:

- **Creating Explicit Policy:** Embedding commitments in faculty handbooks, codes of conduct, and student charters.
- **Establishing Protective Mechanisms:** As the guidelines stress, this goes beyond having a policy on paper. It requires **low-barrier, trusted, and effective channels** for reporting violations—such as ombudsperson offices, faculty senate committees on academic freedom, and clear, fair grievance procedures. These mechanisms must protect complainants from retaliation.
- **Cultivating Culture through Leadership:** University leaders (rectors, deans) must visibly champion free inquiry, defend scholars under external attack, and model tolerance for contentious debate. Their role in buffering internal and external pressures is critical.
- **Addressing Internal Threats:** Academic freedom can be violated internally through bullying, ideological conformity enforced by departmental factions, or discrimination. Policies must protect against these as vigilantly as against external threats.
- **Resource Commitment:** Supporting academic freedom requires investment: legal support for threatened staff, funding for controversial research areas, and resources for organizing debates and workshops on the topic itself.

The Multi-Actor Model of Responsibility

A sophisticated understanding recognizes a distribution of responsibility, as outlined in the Georgian document:

- **The State:** Duty to protect via law and refrain from undue interference.
- **Institutions:** Duty to create the protective internal environment.
- **Academic Staff:** Duty to exercise freedom responsibly and defend it for colleagues.
- **Students:** Duty to engage in learning freely and respect the learning process.
- **Administrative Staff:** Duty to implement policies fairly and supportively.
- **The Public/Society:** Duty to value and protect the autonomous space of the university, even when its outputs are inconvenient.

This model underscores that academic freedom is a **systemic property**, not just an individual right. Its failure at any level can compromise the entire structure.

Contemporary Global Challenges in the 21st Century

Today, academic freedom is under multifaceted assault globally. The old threats of direct state repression persist, but they are now amplified and complemented by new, more insidious forms of pressure that test the resilience of traditional defenses.

The Authoritarian Resurgence and "Sharp Power"

In countries like China, Russia, Turkey, Hungary, and many others, we witness a deliberate rollback of university autonomy. Tactics include:

- **Legislative Control:** Laws requiring curriculum changes (e.g., "patriotic education"), restricting foreign funding or collaboration, and mandating government approval for academic events.
- **Personnel Purges:** Dismissals of non-compliant faculty and appointments of loyalists to leadership positions.

- **Ideological Purging:** The closure of departments (e.g., gender studies, political science) deemed subversive.
- **Extraterritorial Repression:** Harassing diaspora scholars and their families or using international collaborations as channels for surveillance.
- This is often exercised through **"sharp power"**—covert, manipulative interference that exploits the open systems of democracies to suppress criticism abroad, such as pressuring universities to cancel events or disinvite speakers critical of a foreign regime.

The Neoliberal University and Corporate Capture

In Western democracies, a more subtle but pervasive threat arises from the **marketization of higher education.**

- **The Precarity Trap:** The systematic replacement of tenured positions with short-term, contingent contracts (adjuncts) creates a "precariat" with little job security and overwhelming incentive to avoid controversial topics or criticism of administration. As the Georgian guidelines note, perceptions of freedom are directly linked to contract type.
- **Funding Dependence:** Reliance on external grants (corporate, military, or private foundation) can skew research agendas toward applied, commercializable outputs and away from critical, theoretical, or long-term basic research. The "publish or perish" culture prioritizes quantity and journal impact factors over intellectual risk-taking.
- **Administrative Bureaucratization:** The rise of a managerial class, prioritizing metrics, risk-aversion, and brand management, can lead to the suppression of speech deemed "reputationally risky," even in the absence of state pressure.

The Digital Panopticon: Surveillance, Harassment, and Cybersecurity

The digital environment presents novel threats:

- **State and Corporate Surveillance:** Mass monitoring of communications and online activities can chill research on sensitive topics (security, governance, human rights). Scholars in authoritarian states are particularly vulnerable.
- **Online Harassment and Doxxing:** Scholars, especially women, people of color, and LGBTQ+ researchers, face orchestrated campaigns of online abuse, death threats, and the publication of private information ("doxxing") aimed at silencing them. Universities are often ill-equipped to respond.
- **Cybersecurity Threats:** Hacktivist or state-sponsored cyber-attacks can steal unpublished research data, cripple institutional networks, or leak private emails to discredit individuals.

Ideological Polarization and the "Culture Wars"

Within many societies, deep political polarization has invaded the campus:

- **External Political Attacks:** Universities are painted as enclaves of liberal/leftist indoctrination, leading to punitive legislation (e.g., banning the teaching of "critical race theory" in some U.S. states).
- **Internal Tensions and "Cancel Culture":** Debates over inclusivity, identity, and historical injustice have led to intense conflicts. While often framed as a binary between free speech and creating inclusive environments, the reality is more complex. The legitimate goal of making campuses welcoming to all can sometimes manifest in calls to disinvite speakers, sanction professors, or remove materials deemed harmful—processes that can bypass academic freedom safeguards if not handled with extreme care, procedural fairness, and a commitment to open debate.

- **Self-Censorship:** The fear of causing offense, triggering a social media storm, or facing disciplinary action leads many scholars, particularly junior ones, to avoid contentious topics altogether—a profound, silent erosion of freedom.

Global Inequities and Knowledge Asymmetry

The global architecture of knowledge production is deeply unequal. Scholars in the Global South face compounded challenges:

- **Resource Scarcity:** Limiting their ability to conduct independent research.
- **Political Instability and Violence:** Making scholarly work physically dangerous.
- **"Parachute Research" and Epistemic Injustice:** Northern researchers often extract data from the South without equitable collaboration or credit, reinforcing colonial patterns of knowledge ownership. The dominant publishing and indexing systems (Scopus, Web of Science) marginalize journals and perspectives from the Global South.

The Pandemic and the Acceleration of Digital Learning

The COVID-19 pandemic accelerated the shift to digital learning, creating new frontiers for control. Who owns the digital platform? Who can access recordings of lectures? Can a university discipline a student for comments made in a private Zoom chat? These questions remain largely unsettled, creating legal and ethical gray areas.

Synthesis and Paths Forward – Defending a Dynamic Ideal

Confronted with this daunting array of challenges, the defense of academic freedom requires moving beyond nostalgic appeals to a golden age that never existed. It demands adaptive, robust, and collective strategies.

Reinforcing the Legal-Institutional Infrastructure

- **Strengthening Tenure:** Defending and expanding tenure systems where they exist, and exploring robust alternatives (e.g., long-term contracts with strong due process) where they do not, is fundamental.
- **Clarifying Digital Policies:** Institutions must urgently develop clear policies on digital academic freedom, data privacy, and protocols for supporting staff facing online harassment.
- **Implementing the Guidelines:** Operational documents like Georgia's are blueprints; their value depends on dedicated implementation, monitoring, and resource allocation.

Fostering a Culture of Resilient Pluralism

We must cultivate a campus culture that is both **inclusive and intellectually fearless**. This involves:

- **Viewpoint Diversity:** Proactively inviting a range of perspectives into curricula and speaker series, not to legitimize harmful ideas, but to subject all ideas to rigorous scrutiny.
- **Pedagogies of Disagreement:** Teaching students how to engage in constructive, evidence-based conflict—a core civic and scholarly skill.
- **Institutional Neutrality on Public Issues:** While individual scholars must be free to speak, the institution *as a corporation* should generally refrain from taking official positions on contentious social and political issues, to protect the freedom of all its members to dissent.

Building Solidarity Networks

- **International Advocacy:** Organizations like **Scholars at Risk**, the **AAUP**, and **ENABLE** (European Network for Academic Integrity and Freedom) provide vital monitoring, advocacy, and direct support to threatened scholars.

- **Transnational Professional Associations:** Disciplinary associations must use their moral authority to condemn violations and sanction countries or institutions that violate norms.
- **University-to-University Partnerships:** Establishing "sister university" relationships to provide material and political support to besieged institutions abroad.

Engaging the Public and Rebuilding the Social Contract

The university cannot defend its autonomy in a vacuum. It must actively **communicate its public value.** This means:

- **Public Scholarship:** Encouraging and rewarding faculty who engage with the media, write for popular audiences, and contribute to public debates.
- **Transparency and Accountability:** Demystifying academic work and being transparent about decision-making processes to counter narratives of elitism and secrecy.
- **Articulating the Link to Democracy:** Consistently making the case that a society that stifles its truth-seekers and critical thinkers ultimately impoverishes itself intellectually, economically, and politically.

Rethinking the Political Economy of Knowledge

Ultimately, the most significant challenge may be structural: the neoliberal funding model itself. A long-term defense of academic freedom requires advocating for **stable, public core funding** for universities, reducing dependence on volatile external sources, and creating career pathways that offer security and intellectual independence to the next generation of scholars.

Freedom as an Unending Project

The scientific discourse on academic freedom reveals it to be a paradoxical ideal: universally proclaimed yet perpetually contested; essential for progress yet inherently fragile; a lofty principle that must be made concrete in the daily practices of hiring, teaching, researching, and debating. Its conceptual foundations rest on a delicate balance between autonomy and responsibility. Its history is a testament to human ingenuity in creating spaces for thought and to the relentless forces that seek to dominate them. Its legal frameworks provide necessary but brittle armor. Its contemporary challenges are more diffuse, digital, and economically embedded than ever before.

The guidelines from Georgia, and similar documents worldwide, represent a recognition that freedom requires not just proclamation, but **intentional design**. They map the terrain of an institutional ecosystem that must be actively cultivated. In the end, academic freedom is not a gift bestowed by benevolent authorities. It is, as historian Henry Reichman has called it, a "practice" and a "achievement" wrested from power by collective action and vigilance. In the 21st century, defending it will require the same courage, creativity, and solidarity that its long and fraught history has always demanded. It is not merely the freedom of academics; it is the freedom of society to know, to question, and to imagine alternatives. Its fate is, therefore, inseparable from our own.

Unresolved Tensions and Emerging Paradigms in the Discourse

The defense of academic freedom is not merely a matter of implementing existing frameworks more effectively. It also requires grappling with profound, unresolved tensions within the concept itself and responding to emerging paradigms that challenge its traditional boundaries.

The Tension Between Freedom and Equity: Is Neutrality Possible?

One of the most heated contemporary debates pits academic freedom against demands for social justice, equity, and inclusion. Critics argue that the traditional model of academic freedom, with its emphasis on neutral forums and viewpoint diversity, has historically served to protect a dominant (white, male, Western) perspective while marginalizing others. They contend that the university cannot be "neutral" in the face of systemic injustice; silence or "both-sides-ism" on issues like racism or colonialism is itself a political stance that perpetuates harm.
This manifests in calls for:

- **Content Warnings & Trauma-Informed Pedagogy:** Framed as a duty of care to students, critics see mandatory warnings as an infringement on a professor's freedom to teach challenging material as they see fit.
- **Bias Reporting Systems:** While designed to address discrimination, poorly implemented systems can be used to harass scholars over intellectual disagreements, creating a climate of fear.
- **Hiring and Curriculum Reforms:** Efforts to diversify faculties and curricula are sometimes attacked as "ideological litmus tests" that violate academic freedom in hiring and course design.

Navigating this tension requires moving beyond a zero-sum framework.
It necessitates recognizing that a truly free academic environment must be one where all scholars and students, regardless of identity, feel secure enough to participate fully. This does not mean abolishing freedom but **reconceptualizing it relationally**. Academic freedom for a tenured professor to teach controversial material exists in relation to a student's freedom to learn without being subjected to a hostile environment. The solution lies not in censorship but in robust pedagogical ethics, clear professional boundaries (distinguishing between contested ideas and personal harassment), and institutional commitments to both free inquiry *and* belonging. The Georgian guideline's emphasis on a "culture of respect for intellectual… processes" and "coexistence" of diverse views points toward this complex balance, though it offers no simple formula.

The Challenge of Disinformation and Epistemic Crisis
The 21st-century public sphere is saturated with disinformation and "alternative facts." This poses a unique challenge to academic freedom, which is predicated on a shared commitment to evidence-based reasoning. What is the university's responsibility when its tools of critical inquiry are weaponized to undermine the very notion of truth?
The "Both Sides" Problem: Does inviting a climate scientist and a well-funded climate denialist to "debate" represent a healthy pluralism or a misleading false equivalence that elevates propaganda to the status of scholarly contention? Academic freedom protects the right to hold unconventional views, but it does not oblige institutions to platform views that systematically reject disciplinary norms and evidence.

Scholarly Complicity: Scholars in fields like law, medicine, or political science may produce work that, while legally protected, is used to justify policies harmful to public health or democracy (e.g., research supporting restrictive voting laws). Where does scholarly responsibility end and freedom begin?
This suggests a need for academia to more actively **defend and articulate its epistemic foundations.** This involves public engagement to explain peer review, methodological rigor, and the corrective processes of science. It also requires scholarly communities to be more vigilant in identifying and condemning work that is not merely heterodox but is ethically

reckless or epistemically bankrupt, while still defending the *right* to produce it. The line is perilously thin, but ignoring the problem cedes the ground of truth to bad-faith actors.

Academic Freedom and the Decolonization of Knowledge

The global movement to decolonize curricula and research methodologies presents a fundamental challenge to the Universalist claims often embedded in Western conceptions of academic freedom. This paradigm argues that the very standards of "rigor," "objectivity," and "merit" are culturally constructed and have been used to exclude Indigenous, Southern, and subaltern knowledges.

- **Epistemic Injustice:** The demand is not just to include more voices, but to challenge the hegemony of Western epistemologies—the privileging of written over oral tradition, quantitative over qualitative methods, individualism over communalism, and secularism over spiritual ways of knowing.
- **Implications for Freedom:** This can create friction. Does protecting a scholar's freedom to use and teach solely Western paradigms infringe on the intellectual freedom of students from other traditions to see their knowledge systems valued? Does mandating the inclusion of non-Western perspectives constitute a violation of a professor's *Lehrfreiheit*?

A decolonial approach to academic freedom would likely argue for a **pluriversal** rather than a universal model. It would expand the canopy of protected inquiry to legitimize and protect multiple, co-existing knowledge systems within the academy. This would require rethinking curricula, assessment, and publication practices to be genuinely inclusive. It transforms academic freedom from the freedom to operate within one dominant paradigm to the freedom to navigate and contribute to a contested, multicultural epistemic space. This is an immense institutional and intellectual challenge that moves far beyond simple notions of "adding diversity."

The Privatization of Knowledge and the Threat to the Public Mission

The dramatic expansion of intellectual property (IP) regimes and industry-university partnerships has created a new frontier for the limitation of academic freedom: **corporate secrecy**.

- **Gag Clauses and Delay of Publication:** Research contracts with private companies often include clauses that allow the sponsor to delay or veto publication of unfavorable results. This directly contravenes the principle of free dissemination.
- **Data Ownership and Access:** Who owns the data generated by sponsored research? Restrictions on data sharing to protect corporate IP undermine scientific reproducibility and cumulative knowledge building.
- **Directed Research Agendas:** When large portions of a university's research portfolio are shaped by corporate priorities (e.g., in pharmaceuticals, agribusiness, tech), curiosity-driven, critical, or public-interest research in those fields can wither.

Here, the defense of academic freedom must become a fight for **knowledge as a public good**. It requires strong institutional policies that prioritize publication rights, data stewardship for the public interest, and transparency in funding relationships. It may also demand collective action, such as model contract language promoted by faculty senates or disciplinary associations, to push back against the most restrictive corporate terms.

The Future of Academic Freedom: Speculative Horizons and Proactive Defenses

Looking ahead, the terrain will continue to shift. Proactively defending academic freedom requires anticipating future challenges and envisioning new institutional forms.

The Algorithmic University: AI, Surveillance, and Managed Learning

The integration of Artificial Intelligence and big data analytics into university administration and pedagogy poses unprecedented challenges.

- **Predictive Analytics and "Academic Governance":** Algorithms used to monitor student engagement, predict success, or "guide" curriculum design could impose a subtle, technocratic form of control, optimizing for efficiency and job-market outcomes at the expense of intellectual exploration and risk-taking.
- **AI in Research and Authorship:** Who is responsible for the output of an AI research tool? How do we protect the freedom of inquiry when the very tools of discovery are proprietary "black boxes" owned by private corporations (e.g., large language models, specialized simulation software)?
- **Automated Content Moderation:** AI tools used to police online learning platforms for "inappropriate" content could accidentally (or deliberately) flag and suppress legitimate scholarly discussion of sensitive topics.

The future will require **digital literacy infused with an ethic of academic freedom**. Scholars and administrators will need to understand the biases embedded in algorithmic systems and advocate for "algorithmic transparency" and human oversight in educational technologies. The principle of "institutional autonomy" must extend to **data autonomy**—control over the digital learning and research environment.

The Global Scholar and Transnational Repression

As research collaborations become more global, scholars are increasingly vulnerable to **transnational repression.** A PhD student from an authoritarian country studying abroad may face threats to family back home if their research is deemed sensitive. A scholar collaborating with foreign colleagues may be accused of "espionage." Defending freedom will require **transnational legal and diplomatic frameworks.** Universities will need to act more like consulates, providing robust legal and logistical support to internationally mobile scholars and leveraging diplomatic channels. Organizations like Scholars at Risk will become even more critical.

The "Knowledge Commons" as an Alternative Model

In response to enclosure by states and markets, a powerful counter-movement envisions academia as a **global knowledge commons**. This model emphasizes:

- **Open Access Publishing:** Removing paywalls to ensure the fruits of research are freely available to all, everywhere.
- **Open Educational Resources (OER):** Reducing student costs and freeing educators from proprietary textbook constraints.
- **Open Data and Open Source:** Promoting transparency, collaboration, and reproducibility.
- **Open Peer Review:** Making the evaluation process more transparent and equitable.

This commons model is, in essence, a structural reinforcement of academic freedom at the systemic level. It seeks to de-commodify knowledge, reducing dependencies that lead to censorship and control. Supporting the open science movement is thus a direct, practical strategy for defending the core academic freedom to share ideas.

Reimagining Governance: Democratic Collegiality vs. Managerialism

The internal governance of universities is a decisive factor. The global trend toward top-down, corporate-style **managerialism** concentrates power in non-academic administrators, undermining the traditional shared governance (faculty senates, academic councils) that has been a bedrock of professional self-regulation and freedom.

The fight for academic freedom is therefore also a fight for **democratic collegiality.** This means empowering faculty, students, and staff in substantive decision-making on curriculum, research priorities, hiring, and budget. It means protecting the independence of academic bodies from executive override. A university where the academic community genuinely governs its core activities is far more resilient to external and internal threats to freedom.

Synthesis and Imperatives for Action – A Manifesto for the 21st Century

The preceding analysis reveals that academic freedom is under a convergent assault from political authoritarianism, market fundamentalism, technological disruption, and internal ideological schisms. Its defense can no longer be passive or reactionary. It must be proactive, strategic, and built on a renewed consensus about its indispensable value. The following imperatives emerge for different stakeholders.

For Scholars and Academic Communities:

- **Exercise it or lose it:** Actively use your freedom to pursue challenging questions, especially in areas of social and political importance. Avoid self-censorship born of careerism or fear.
- **Defend it for others:** Be vigilant in defending colleagues under attack, both within and outside your institution. Write letters of support, sign petitions, and leverage professional associations. Solidarity is the most potent weapon.
- **Embrace Responsibility with Freedom:** Engage in public scholarship. Communicate the value and process of your work to a broader audience. Demonstrate that academic freedom serves society.
- **Uphold Professional Standards:** Vigorously police the boundaries of your discipline against fraud, plagiarism, and ethical misconduct. The credibility of the entire enterprise depends on integrity.

The Unending Conversation

The scientific discourse on academic freedom is, in the end, a conversation about the kind of society we wish to inhabit. Do we want a society that is intellectually closed, fearful of difference, and obedient to imposed orthodoxies? Or do we want a society that is open, curious, resilient, and capable of self-correction through relentless questioning?

The university is not the only institution dedicated to this latter ideal, but it is the one most singularly purpose-built for it. Academic freedom is the operating system of this social function. The guidelines discussed, the laws enacted, and the policies implemented are all attempts to write and debug this ever-evolving code against the viruses of coercion, fear, and dogma.

The challenges of the 21st century—digital, global, ideological—are severe. They require us to think not just about defending the freedom we have, but about imagining and fighting for the freedom we need: a freedom that is equitable, pluriversal, publicly engaged, and embedded in institutions that are both autonomous and accountable. This is not a task for academics alone. It is a civic project of the highest order. The freedom of the academic mind is, ultimately, the freedom of the human mind to comprehend, critique, and remake its world. That is a freedom worth protecting with unwavering resolve.

The Epistemology of Academic Freedom: Justification, Limits, and the Social Value of Unfettered Inquiry

To deepen the discourse, we must move beyond institutional and legal descriptions to interrogate the **epistemological foundations** of academic freedom. Why, philosophically, does the pursuit of knowledge require this specific form of liberty? What are its inherent limits, not just legal but epistemic? And how do we articulate its social value in an age skeptical of expertise?

The Epistemic Justification: From Mill to Merton

The classic liberal defense, articulated by John Stuart Mill in *On Liberty* (1859), is consequentialist: the free collision of opposing opinions is the most reliable mechanism for approaching truth, as even erroneous views contain partial truths and challenge dominant ideas to remain vigorous. Applied to academia, this justifies protecting heretical and minority viewpoints within scholarly discourse.

Sociologist Robert K. Merton provided a complementary, sociological-epistemic framework with his norms of science (1942). While not explicitly about freedom, his norms—**Communism** (common ownership of scientific discoveries), **Universalism** (truth-claims judged by impersonal criteria), **Disinterestedness**, and **Organized Skepticism**—describe an institutional ethos that *requires* academic freedom to function. "Organized Skepticism" especially mandates the liberty to question any and all claims. Violations of academic freedom (e.g., imposing political criteria on truth) are, in this view, direct attacks on the epistemic integrity of science itself.

A more recent, **critical epistemology** argues that knowledge is socially situated and shaped by power. From this perspective, academic freedom is essential not because it leads to one "Truth," but because it creates the conditions for **epistemic justice**—the fair distribution of credibility and the right to contribute to the shared pool of knowledge. It protects marginalized knowers and subjugated knowledges from being silenced by dominant paradigms. This shifts the justification from a utilitarian search for truth to a deontological commitment to intellectual equity.

The Inherent Epistemic Limits of Academic Freedom

Academic freedom is not a license for epistemic anarchy. Its very purpose—the advancement of reliable knowledge—implies internal, disciplinary limits.

- **The Limit of Competence:** Academic freedom protects inquiry within one's field of expertise. A physicist's freedom does not extend to making authoritative, professionally unvetted pronouncements on clinical medicine. Institutions have a duty to clarify areas of expert authority.
- **The Limit of Methodological Integrity:** Freedom does not protect fraudulent data, plagiarism, or research that wilfully violates methodological standards. These acts betray the epistemic contract.
- **The Limit of the Scholarly Forum:** The strongest protections apply within the "scholarly forum"—peer-reviewed journals, academic conferences, and the classroom. When scholars speak *as citizens* in the public sphere, they still have free speech rights, but their claims may not carry the same institutional imprimatur or protection. This distinction, though blurred, is crucial.
- **The Limit of Pedagogical Purpose:** In the classroom, freedom is bounded by the pedagogical goal of student learning. Using the classroom primarily for political activism

unrelated to the course subject, or creating a hostile environment that shuts down student inquiry, represents a misuse of this freedom.

These are not external political limits but **internal epistemic guardrails**. Their enforcement, however, must come from peer review and professional bodies, not administrators or politicians, to avoid censorship disguised as quality control.

Articulating Social Value in a "Post-Truth" Era

The social contract for academic freedom is under strain due to declining public trust in institutions and the rise of "post-truth" politics. Simply claiming that universities produce "truth" is no longer persuasive. A more compelling narrative must be built on multiple pillars of value:

- **The Innovation Argument:** Unfettered, curiosity-driven research is the wellspring of unexpected, transformative breakthroughs (from the internet to mRNA vaccines). Excessive direction and censorship kill the serendipity essential for innovation.
- **The Democratic Capacitation Argument:** Democracy requires citizens capable of critical thinking, navigating complex information, and holding power to account. Universities are the primary sites for cultivating these capacities. An academy under constraint produces graduates trained in conformity, not critical engagement.
- **The "Canary in the Coalmine" Argument:** The health of academic freedom is a key indicator of a society's overall democratic health and tolerance for dissent. Its erosion is an early warning sign of broader authoritarian drift.
- **The Stewardship of Long-Term Inquiry Argument:** Society needs actors who can think in decadal and centennial terms about climate change, historical injustice, or existential risk. The market and political cycles cannot support this. The autonomous university, free from short-term pressures, is one of the few institutions capable of this stewardship.

Universities must move from a stance of privileged retreat to one of **engaged stewardship**, proactively demonstrating these values through public-facing projects, community partnerships, and transparent communication about how academic work addresses societal challenges.

Comparative Perspectives: Academic Freedom in Different Political and Cultural Contexts

The Western, Humboldtian model is not universal. Examining how academic freedom is conceived, contested, and constrained in different contexts reveals it's culturally and politically.

The "Socialist" Model: Service to the State

In historical socialist states (USSR, Maoist China) and contemporary systems like China, academic freedom is explicitly subordinated to state ideology and national goals. The dominant concept is of the intellectual as a **"servant of the people" and the party.** Autonomy exists only in technical, instrumental matters, not in defining the purpose or ideological content of education and research. "Academic freedom" may be invoked, but it is redefined as the freedom to contribute to national rejuvenation within state-determined parameters. Criticism is permissible only within the bounds of officially sanctioned discourse. The massive state investment in STEM fields, coupled with tight control over social sciences and humanities, reflects this instrumentalist approach. The challenge for scholars is navigating the space between contribution and co-option.

The "Communitarian" or "Developmental" Model

In some Asian (e.g., Singapore) and African contexts, a communitarian ethos shapes higher education. The emphasis is on **social harmony, nation-building, and economic development.** Individual scholarly liberty may be viewed with suspicion if it threatens social cohesion or distracts from pressing developmental priorities. Academic freedom is often balanced against, and sometimes limited by, broadly defined concepts of "public order," "religious sensitivity," or "racial harmony." In post-colonial states, universities may be seen as vital instruments for decolonizing the mind and forging a national identity, which can create tension with cosmopolitan, critical scholarship. The debate here centers on whether academic freedom is a Western individualist import ill-suited to local values, or a universal prerequisite for genuine national self-determination and innovation.

The "Market" Model: The Anglo-American Neoliberal Turn

As previously discussed, in the US, UK, and other Anglophone countries, the traditional tenure-based model is being eroded by market logic. Here, the constraint is less direct state ideology and more the **indirect power of funders, rankings, and consumer (student) demand.** Academic freedom morphs into a form of "entrepreneurial freedom"—the freedom to attract grants and publish in top journals. This creates a de facto orthodoxy of what is fundable and publishable. The threat is a subtle, systemic narrowing of inquiry, where fields that are critical, theoretical, or not easily commodified struggle to survive. The scholar's autonomy is compromised not by a political commissar, but by the need to secure their own salary through external grants in a precarious employment market.

The "Theocratic" Model

In states where religious authority is paramount (e.g., Iran, Saudi Arabia in certain periods, or religious universities worldwide), academic freedom is bounded by **theological orthodoxy.** Inquiry must not challenge foundational religious doctrines or the interpretive authority of religious institutions. This can affect fields from evolutionary biology and cosmology to history, gender studies, and law. The conflict is framed as one between divinely revealed truth and fallible human reason. Within these constraints, significant scholarship can still occur, but it operates within a clearly demarcated epistemic enclosure.

The "Under Siege" Model: Academic Freedom in Illiberal Democracies and Conflict Zones

In places like Hungary, Turkey, India, or Brazil, where illiberal democracies have risen, and in active conflict zones (Palestine, Ukraine, Myanmar), universities are **explicit political battlegrounds**. Academic freedom is attacked directly through:

- **Lex CEU (Hungary):** Legislation specifically targeting a respected foreign university (Central European University) to force it out of the country.
- **Signatory Purges (Turkey):** Following the 2016 coup attempt, tens of thousands of academics were dismissed for signing peace petitions.
- **Nationalist Curriculum Overhauls (India):** Government efforts to rewrite history and social science curricula to fit a majoritarian nationalist narrative.
- **Physical Destruction (Ukraine):** The deliberate bombing of universities as cultural and intellectual infrastructure.

Here, the defense of academic freedom is a bare-knuckled, existential struggle for institutional survival and physical safety, requiring international solidarity, legal battles, and often, exile.

This comparative analysis shows that the core conflict—between the logic of open inquiry and other social logics (state power, community cohesion, market efficiency, religious truth, nationalist purity)—manifests in culturally specific forms. There is no one model of academic freedom; there are only different equilibriums of constraint and liberty, each with its own justifications and consequences for knowledge production.

The Micro-Politics of the Academy: Internal Threats and the Bureaucratization of Freedom

While external threats are stark, some of the most insidious erosions of academic freedom occur within the university's own bureaucratic and social structures.

The Rise of the "Compliance University"

In response to legitimate concerns (fraud, harassment, safety, data privacy) and risk-aversion, universities have spawned a vast **compliance bureaucracy**. Ethics review boards (IRBs), research integrity offices, health and safety committees, IT usage policies, and codes of conduct have proliferated. While many serve vital purposes, their cumulative effect can be a **"chilling effect"** through:

- **Ethical Review Creep:** IRBs, designed for biomedical research, are often applied awkwardly to social science and humanities, delaying or deterring sensitive but important research on power, inequality, or marginalized communities.
- **Pre-emptive Risk Mitigation:** Administrators may discourage events with controversial speakers due to the cost of security or fear of negative publicity, enacting a soft censorship.
- **Ambiguous Speech Codes:** Overly broad policies against "disrespectful" or "uncivil" speech can be used to punish robust scholarly disagreement or criticism of administration.

The challenge is to design compliance systems that are **proportionate, discipline-sensitive, and themselves subject to academic oversight,** ensuring they protect people without suffocating inquiry.

Intra-disciplinary Conformity and "Cancel Culture" within Academia

The threat of ideological conformity is not only external. Within disciplines, **enforced orthodoxies** can emerge, where deviation from dominant theoretical paradigms (be it neoliberalism in economics, post-colonial theory in literature, or positivism in political science) leads to professional marginalization—denial of publication, exclusion from conferences, whispered reputational damage. This is sometimes mislabeled as "cancel culture," but it is better understood as the perennial problem of **gatekeeping and paradigm maintenance**, now amplified by social media call-outs.

- The key distinction is between **scholarly critique** (rigorous, evidence-based disagreement within the norms of the field) and **administrative or social punishment** (calls for dismissal, harassment, boycotts) aimed at silencing, not engaging, a scholar.
- Academic freedom must protect scholars from the latter, while the former is the essential, if sometimes bruising, process of scholarly progress. Robust departmental governance and faculty senate oversight are crucial for navigating this line, ensuring that personnel decisions are based on scholarly merit, not ideological alignment.

The Erosion of Shared Governance

Academic freedom is inextricably linked to **shared governance**—the meaningful participation of faculty in core academic decisions (curriculum, degrees, hiring, and promotion). The global trend toward "managerialism" concentrates power in professional administrators, treating faculty as employees rather than as the heart of the institution. When deans and provosts override faculty hiring recommendations, unilaterally close programs, or impose top-down

curricular changes in the name of "efficiency" or "strategic alignment," they undermine the professional autonomy that is the prerequisite for academic freedom. The fight for shared governance is thus a foundational fight for the conditions that make intellectual freedom possible.

The "Gig Academy" and the Two-Tier System

The structural underpinning of internal threat is the **two-tier labor system**. Tenured and tenure-track faculty enjoy strong protections. The growing majority—contingent faculty (adjuncts, postdocs, teaching fellows)—work on short-term contracts with no job security, low pay, and little voice in governance. For them, "academic freedom" is a cruel joke. Speaking out on curricular issues, criticizing the department, or researching controversial topics can mean not having their contract renewed. This creates a **permanent underclass of scholars who are systemically unfree,** undermining the principle for the entire institution. No discussion of academic freedom is complete without addressing this fundamental political economy of the modern university.

New Frontiers, the Digital Reconfiguration of Academic Space:

The digital environment is not merely a new site for old threats; it fundamentally reconfigures the spatial, temporal, and archival nature of academic work, creating novel challenges for freedom.

The Virtual Classroom and the Loss of Ephemerality

The physical classroom was a **privileged, ephemeral space**. Discussions were contained, allowing for speculative, provocative, and exploratory dialogue. The digitization of teaching—especially recorded lectures and persistent online discussion forums—destroys this ephemerality.

- **Context Collapse:** A comment made in a specific pedagogical context can be clipped, shared on social media, and weaponized by bad-faith actors, leading to harassment and professional damage.
- **Surveillance & Self-Censorship:** The knowledge that every word is recorded may inhibit free-wheeling discussion. Students and faculty alike may self-censor.
- **Ownership and Control:** Who owns the recording? Can a university use a professor's recorded lectures indefinitely after they leave? Can a professor be compelled to hand over their Zoom chat logs for a disciplinary investigation?

New norms and policies are needed to re-establish a zone of protected pedagogical experimentation in the digital realm, balancing transparency and accountability with the need for intellectual risk-taking.

The Datafication of Research and Algorithmic Governance

Research is increasingly conducted through digital platforms that generate vast troves of behavioral data.

- **Platform Control:** Scholarly collaboration happens on platforms like Slack, Teams, or proprietary research networks. These companies can, under their terms of service, access data or shut down accounts, potentially compromising sensitive research (e.g., on political dissent).
- **Bibliometrics and Algorithmic Reputation:** A scholar's "impact" is increasingly quantified by algorithms (citation counts, h-index, altmetrics). These automated systems can create perverse incentives and a new form of **algorithmic governance**, where scholars shape their work to "game" the metrics, not to pursue the most important questions.

- **Open Data and Privacy:** The push for open data, while laudable for transparency, clashes with the need to protect research subjects, especially in qualitative social science. Mandating the public deposition of interview transcripts or field notes could endanger vulnerable communities and deter critical research.

Digital Sovereignty and Institutional Infrastructure

The reliance on privately owned, often U.S.-based, digital infrastructure (Google, Microsoft, Zoom, Elsevier, and JSTOR) creates vulnerabilities. It subjects global academic communication to U.S. law and corporate policies. Universities need to invest in **sovereign digital infrastructure**—open-source learning management systems, institutionally hosted communication tools, and non-profit publishing platforms—to reclaim control over their academic spaces. This is a technical and financial challenge, but it is a necessary one for long-term autonomy.

The Global Digital Divide and Epistemic Exclusion

The digital turn exacerbates global inequities. Scholars in under-resourced institutions without reliable internet or access to paywalled journals are further marginalized. Digital academic freedom, therefore, must include the **freedom to access**—the right to participate in the global digital conversation. This strengthens the moral and practical case for open access publishing and equitable investment in global research infrastructure.

Contemporary Challenges to Academic Freedom

Academic freedom in the twenty-first century is increasingly situated at the intersection of law, politics, institutional governance, market forces, and rapidly evolving technological and socio-cultural transformations. While academic freedom has long been recognized as a foundational principle of higher education and scientific inquiry, its contemporary manifestation reveals a complex landscape in which formal legal protections often coexist with subtle, systemic, and informal constraints. This tension underscores the necessity of moving beyond purely normative definitions of academic freedom and toward a critical examination of how it is experienced, contested, and negotiated in practice across diverse national and institutional contexts.

One of the most salient contemporary challenges to academic freedom arises from the growing politicization of higher education. Universities have historically been spaces of critical thought, dissent, and the production of knowledge that may challenge dominant ideologies or state policies. In the current global environment, however, academic inquiry increasingly intersects with polarized political agendas, resulting in heightened scrutiny of research topics, teaching content, and public engagement by scholars. In some contexts, this politicization manifests overtly through legislative interventions, funding conditionalities, or regulatory oversight aimed at steering academic discourse in ideologically preferred directions. In others, it operates more subtly through informal pressures, reputational risks, or the instrumentalization of public opinion, thereby constraining scholars' willingness to engage in controversial or socially sensitive research areas.

Closely related to political pressures is the issue of institutional autonomy, which remains a necessary but insufficient condition for the realization of academic freedom. While autonomy provides higher education institutions with formal independence from direct state control, it does not automatically guarantee the protection of individual academic freedoms within institutional structures. Contemporary governance models increasingly emphasize managerial

efficiency, performance metrics, and accountability frameworks that are often derived from corporate or market-oriented logics. These models can inadvertently undermine academic freedom by prioritizing short-term outputs, quantifiable indicators, and strategic alignment over intellectual risk-taking, critical inquiry, and long-term fundamental research. As a result, academics may experience constraints not through explicit censorship but through incentive structures that discourage deviation from institutionally sanctioned priorities.

The marketization and commodification of higher education constitute another profound challenge to academic freedom in the contemporary era. As universities compete for funding, rankings, international students, and industry partnerships, academic activities are increasingly evaluated in terms of their economic utility and market relevance. While engagement with industry and society can enhance the social impact of research, excessive reliance on external funding sources may compromise scholarly independence. Research agendas may be shaped by sponsor interests, and unfavorable findings may be discouraged or marginalized. In teaching, market pressures can lead to the standardization of curricula, customer-oriented models of education, and the erosion of pedagogical autonomy, thereby constraining educators' freedom to design and deliver courses grounded in critical and exploratory approaches.

Technological developments and digitalization further complicate the contemporary landscape of academic freedom. On the one hand, digital technologies expand access to knowledge, facilitate international collaboration, and enable new forms of scholarly communication. On the other hand, they introduce novel risks related to surveillance, data governance, and digital censorship. The increasing use of learning management systems, research analytics, and online communication platforms creates extensive digital footprints that can be monitored by institutional authorities, governments, or private corporations. In certain contexts, this surveillance potential may generate self-censorship among academics and students, particularly when engaging with politically sensitive or controversial topics. Moreover, algorithm-driven evaluation systems may reinforce narrow definitions of academic excellence, thereby marginalizing interdisciplinary, critical, or non-mainstream scholarship.

Another critical dimension of contemporary challenges to academic freedom concerns employment precarity and changing academic labor conditions. The expansion of fixed-term contracts, adjunct positions, and performance-based employment arrangements has significantly altered the professional landscape of academia. Scholars who lack job security may be particularly vulnerable to pressures that limit their academic freedom, as the expression of dissenting views or engagement in controversial research may be perceived as risky in precarious employment contexts. This structural vulnerability undermines the traditional assumption that academic freedom can be effectively exercised by all members of the academic community on an equal basis. Instead, it reveals stratified experiences of freedom, shaped by contractual status, institutional position, and access to tenure or equivalent protections.

The issue of academic freedom is further complicated by evolving societal expectations regarding inclusivity, ethics, and social responsibility. Contemporary debates increasingly emphasize the need to balance academic freedom with other fundamental values, such as non-discrimination, respect for human dignity, and social cohesion. While these values are not inherently in conflict with academic freedom, tensions may arise when scholarly inquiry or expression is perceived as offensive, harmful, or exclusionary by certain social groups. Navigating these tensions requires careful institutional and societal dialogue to ensure that academic freedom is not unjustifiably curtailed under the guise of protecting social values, while also recognizing the responsibility of academia to engage ethically and reflexively with broader societal concerns.

Internationalization of higher education introduces both opportunities and challenges for academic freedom. Cross-border collaboration, mobility, and transnational education initiatives can strengthen academic freedom by exposing scholars to diverse perspectives and institutional cultures. However, international partnerships may also expose institutions and individuals to external political pressures, particularly when collaborating with actors from contexts where academic freedom is limited. Issues related to export controls, transnational data sharing, and geopolitical tensions can constrain research agendas and academic exchanges. In this regard, academic freedom must be understood not only as a national or institutional concern but as a global public good that requires coordinated international protection and advocacy.

Legal frameworks remain central to the protection of academic freedom, yet their effectiveness varies significantly across jurisdictions. Constitutional guarantees and higher education legislation often articulate strong commitments to academic freedom, but gaps frequently emerge between formal legal provisions and their practical enforcement. Weak judicial independence, ambiguous legal definitions, or inconsistent institutional policies can undermine the realization of academic freedom in practice. Moreover, the increasing use of soft law instruments, guidelines, and internal regulations places greater responsibility on institutions to translate legal principles into operational protections. This shift underscores the importance of robust internal governance mechanisms, transparent procedures, and accessible grievance systems to address violations of academic freedom.

The role of quality assurance and accreditation processes also warrants critical examination in relation to academic freedom. While quality assurance aims to enhance educational standards and institutional accountability, overly prescriptive or standardized approaches may inadvertently constrain academic autonomy. When evaluation criteria prioritize compliance over creativity, innovation, and disciplinary diversity, they risk narrowing the scope of acceptable academic practice. Therefore, contemporary quality assurance frameworks must be carefully designed to respect institutional diversity and safeguard the freedom of academics to pursue varied pedagogical and research approaches.

In light of these multifaceted challenges, contemporary discussions of academic freedom increasingly emphasize the concept of shared responsibility among multiple stakeholders. States bear primary responsibility for establishing legal and policy environments that protect academic freedom and institutional autonomy. Higher education institutions are responsible for cultivating internal cultures that respect pluralism, protect dissent, and provide effective mechanisms for addressing conflicts and violations. Academic communities themselves play a crucial role in upholding professional ethics, engaging in open debate, and defending the freedoms of colleagues and students. Finally, society at large has a vested interest in protecting academic freedom as a cornerstone of democratic governance, scientific progress, and informed public discourse.

Ultimately, the contemporary challenges to academic freedom highlight the need for a dynamic and context-sensitive understanding of the concept. Academic freedom cannot be reduced to a static legal principle or an abstract ideal; rather, it must be continuously interpreted and defended in response to changing political, economic, technological, and cultural conditions. Strengthening academic freedom in the twenty-first century therefore requires not only formal legal protections but also sustained institutional commitment, professional solidarity, and societal recognition of the indispensable role of free inquiry in addressing complex global challenges. In this sense, academic freedom remains not merely an academic concern but a fundamental pillar of resilient, innovative, and democratic societies.

Academic Freedom and the Google Scholar Platform: Utility, Visibility, and Critical Considerations

The Google Scholar platform has become an indispensable, yet complex, tool within the contemporary ecosystem of academic research and scholarly communication. Its relationship with the principle of academic freedom is multifaceted, functioning simultaneously as a powerful enabler of certain freedoms and as a potential site of new constraints that merit critical examination.

Google Scholar as a Tool for Exercising and Researching Academic Freedom

Primarily, Google Scholar enhances key dimensions of academic freedom by drastically improving the **discoverability and dissemination** of scholarly work. It provides a global, open, and often free-to-access search index that allows researchers, particularly those in under-resourced institutions or repressive regimes, to bypass traditional paywalls and geographic barriers to knowledge. This aligns with the foundational freedom of *Lernfreiheit*—the freedom to learn—by democratizing access to literature. For the individual scholar, maintaining an active and accurate Google Scholar profile constitutes a modern form of exercising academic freedom. It allows them to publicly archive their intellectual output, claim authorship, and demonstrate their research impact on their own terms, thereby supporting professional autonomy and the right to disseminate research findings.

Furthermore, the platform is itself a crucial resource for *studying* academic freedom. Researchers can use its advanced search functions to track the global production of literature on the topic, analyze citation networks to identify key scholars and debates, and monitor the publication trajectories of academics who may be facing restrictions. The metrics provided (e.g., citation counts, h-index) though controversial, are often used in tenure and promotion cases, making engagement with the platform a pragmatic aspect of academic professional life.

Critical Considerations: Algorithmic Governance and Hidden Biases

However, the integration of Google Scholar into academic practice introduces novel challenges that intersect with academic freedom in less visible ways. Its operation is governed by proprietary **algorithms** that rank and filter search results. This opaque curation creates an "algorithmic governance" of scholarly visibility, where certain topics, methodologies, journals (especially those in English and from the Global North), and even political perspectives may be systematically amplified or suppressed without public accountability. This can subtly shape research agendas and marginalize dissenting or non-mainstream scholarly voices, constituting a form of private, commercial influence on the "marketplace of ideas."

The platform’s reliance on **quantitative metrics** also feeds into the neoliberal audit culture that critics argue erodes academic freedom. The easy availability of citation counts and h-indices can incentivize risk-averse, trend-chasing research over innovative, critical, or long-term scholarly projects that may have lower immediate metric payoffs. This represents a soft but powerful constraint on the choice of research questions, a core component of academic liberty.

Moreover, issues of **data ownership and privacy** arise. By creating a profile, a scholar contributes their bibliographic data to a private corporation whose long-term preservation policies and potential uses of data are not controlled by the academic community. This dependence on a commercial platform for professional legitimacy raises questions about the sustainability and autonomy of the scholarly record.

The Imperative to Decouple Evaluation from Metric Persecution

The proposition that increasing Google Scholar rankings should not be a subject of persecution or discrimination against professors is a fundamental corollary to the principles of academic freedom and equitable professional evaluation. The misuse of such metrics for punitive or discriminatory purposes represents a profound distortion of their intended function and a threat to the integrity of the academic enterprise.

Google Scholar Metrics as Tools, Not Inquisitions

Google Scholar's citation indices (h-index, i10-index, citation counts) are designed as **bibliometric tools** for gauging the dissemination and influence of published research. Their proper use is informational and contextual—aiding in literature discovery or providing one partial lens on scholarly impact. When these metrics are weaponized into primary targets for persecution—where scholars are penalized for "low" scores or coerced into gaming the system—they cease to be tools and become instruments of control. This directly infringes upon the core academic freedom to **choose research questions** based on intellectual curiosity, societal need, or methodological innovation, rather than their perceived potential for rapid citation accrual. Research in foundational theoretical work, niche fields, long-term longitudinal studies, or work published in languages other than English may inherently generate citations more slowly or within a smaller community, yet be of immense scholarly value.

The Ethical and Practical Hazards of Metric-Based Discrimination

Persecution or discrimination based on ranking creates severe ethical and practical hazards:

- **Equity Violations:** It systematically disadvantages early-career researchers, scholars from the Global South, those in under-funded disciplines (particularly in the humanities and social sciences), and anyone recovering from career interruptions. It entrenches existing hierarchies and biases within the global knowledge system.
- **Erosion of Scholarly Values:** It incentivizes quantity over quality, salami-slicing of publications, citation cartels, and research choices skewed toward trendy, safe topics. This undermines the very culture of meticulous, rigorous, and ethical inquiry that academic freedom is meant to protect.
- **Procedural Unfairness:** Judging a professor primarily by an opaque, automated, and commercially owned algorithm violates principles of transparent and peer-informed evaluation. It outsources professional judgment to a non-academic entity whose ranking logic is not subject to academic scrutiny or appeal.

Toward a Responsible Evaluation Framework

Defending professors from such persecution requires active institutional and professional commitment:

- **Adopt Holistic Evaluation:** Universities and funding bodies must explicitly endorse and implement the principles of the **San Francisco Declaration on Research Assessment (DORA)** and similar mandates. Evaluation for hiring, promotion, and funding must be based on a qualitative, holistic judgment of a scholar’s contributions, including the rigor and significance of their work, their teaching, mentorship, and service—not merely on journal impact factors or citation counts.
- **Develop Metric Literacy:** Academic leaders must educate committees and administrators on the proper contextual use and severe limitations of bibliometrics. A low h-index is not

evidence of poor scholarship; it is a data point requiring expert interpretation within the norms of a specific field.

- **Protect Academic Freedom in Policy:** Institutional statutes and faculty handbooks should explicitly prohibit the use of single quantitative metrics as the sole or primary basis for adverse employment actions. The burden of proof in any evaluation must rest on a substantive, qualitative review of the candidate's dossier.
- **Support Diverse Outputs:** Institutions should value and recognize diverse forms of scholarly output—including books, critical editions, public scholarship, software, datasets, and community-engaged research—which are often poorly captured by citation-based rankings.

The campaign against the persecution of professors based on Google Scholar rankings is a critical front in the broader defense of academic freedom. It is a fight for a scholarly culture that values **substance over signal, diversity over conformity, and human judgment over algorithmic scoring.** A professor's worth must be measured by the quality of their thought and the integrity of their work, not by a number generated by a search engine. Upholding this principle is essential for fostering the innovative, critical, and diverse intellectual landscape that academia, and society, urgently require.

In the contemporary global academic environment, bibliometric indicators and digital visibility metrics—most prominently those reflected on platforms such as Google Scholar—have become central instruments in evaluating scholarly productivity, impact, and institutional prestige. Citation counts, h-index values, international rankings, and algorithmically generated performance indicators increasingly shape academic careers, funding decisions, promotion pathways, and institutional reputations. While these metrics were initially introduced to enhance transparency, comparability, and merit-based evaluation, their expanding role has generated unintended and, in some contexts, profoundly problematic consequences. One of the most concerning developments is the emergence of metric-based persecution, oppression, and discrimination against professors whose academic visibility, rankings, or citation impact exceed institutional, political, or ideological expectations.

This study advances the central thesis that increasing rankings and high bibliometric performance—particularly on globally accessible platforms such as Google Scholar—must not become grounds for professional persecution, institutional marginalization, or discriminatory treatment of academic staff. On the contrary, such indicators should be recognized as manifestations of scholarly contribution, intellectual influence, and engagement with the international scientific community. The transformation of academic excellence into a liability represents a fundamental distortion of evaluation mechanisms and constitutes a serious threat to academic freedom, institutional integrity, and the normative foundations of higher education.

The abstract situates this problem within the broader conceptual and historical framework of academic freedom, tracing its evolution from medieval university autonomy through Enlightenment ideals of free inquiry to its contemporary codification in international human rights instruments. Academic freedom is examined not merely as an individual privilege, but as a structural condition essential for the production of reliable knowledge, the advancement of science, and the functioning of democratic societies. Within this framework, the persecution of scholars on the basis of their academic success—measured through internationally recognized metrics—emerges as a paradoxical yet increasingly observable phenomenon.

A central focus of the study is the critical analysis of bibliometric governance. While metrics such as Google Scholar citations are often portrayed as neutral and objective, this research demonstrates that their interpretation and institutional use are deeply embedded in power

relations, governance cultures, and political contexts. In environments characterized by weak institutional autonomy, politicized governance, or opaque evaluation systems, high academic visibility may provoke suspicion, resentment, or defensive institutional behavior. Rather than being rewarded, internationally recognized scholars may face informal sanctions, exclusion from decision-making processes, administrative harassment, or reputational attacks. Such practices invert the logic of meritocracy and undermine trust in academic institutions.

The abstract further explores how metric-based discrimination intersects with broader contemporary challenges to academic freedom. These include political interference in higher education, the erosion of collegial governance, excessive managerialism, and the commodification of academic labor. In some cases, high-ranking professors are perceived as threats to established hierarchies, institutional narratives, or local power structures. Their global visibility amplifies this tension, particularly in systems where international engagement is rhetorically encouraged but practically discouraged when it disrupts internal equilibrium. The result is a climate in which excellence is selectively celebrated or suppressed, depending on its alignment with institutional or political interests.

Special attention is given to the role of digital platforms, especially Google Scholar, in reshaping academic recognition. Unlike traditional indexing systems controlled by elite publishers or disciplinary gatekeepers, Google Scholar offers a relatively open and inclusive model of visibility. This democratization of scholarly recognition has empowered researchers from peripheral institutions and regions, enabling them to participate more fully in global scientific discourse. However, this same openness has also challenged entrenched evaluation cultures, exposing disparities in productivity, impact, and international engagement. In such contexts, high metrics may become a source of tension rather than pride, particularly where institutional identities are grounded in seniority, loyalty, or non-transparent criteria.

The abstract also addresses the ethical and legal dimensions of metric-based persecution. Drawing on international standards such as the UNESCO Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel, the European Convention on Human Rights, and constitutional protections of academic freedom, the study argues that discrimination based on scholarly success violates core principles of equality, non-discrimination, and professional dignity. Academic freedom includes not only the right to pursue research and express ideas, but also the right to be evaluated fairly, transparently, and without retaliation for intellectual achievement. When metrics are weaponized against scholars, they cease to function as tools of assessment and become instruments of control.

Methodologically, the research adopts an interdisciplinary approach, integrating legal analysis, policy review, comparative institutional studies, and critical theory. While the abstract does not present empirical findings in detail, it outlines a framework for examining documented cases in which professors with high citation impact or international recognition have experienced adverse institutional consequences. These cases are analyzed not as isolated incidents, but as symptoms of systemic dysfunction within academic governance structures. The study emphasizes that such patterns are observable across diverse geopolitical contexts, including both democratic and non-democratic systems, albeit with varying intensity and forms.

A further contribution of the study lies in its exploration of the psychological and professional consequences of metric-based discrimination. Persecution of highly visible scholars not only affects individual careers but also generates broader chilling effects within academic communities. When excellence is punished, early-career researchers may be discouraged from pursuing ambitious research agendas, engaging internationally, or disseminating their work

openly. This environment fosters conformity, risk aversion, and intellectual stagnation, ultimately weakening the research ecosystem and diminishing societal trust in academia.

The abstract concludes by articulating a normative and forward-looking argument: increasing rankings and high metrics on Google Scholar should be institutional assets, not triggers for suspicion or repression. Universities and research institutions must reaffirm their commitment to academic freedom by ensuring that evaluation systems are transparent, merit-based, and aligned with international best practices. Bibliometric indicators should be used responsibly, contextualized appropriately, and complemented by qualitative assessments rather than manipulated as tools of exclusion or control.

The study positions metric-based persecution as a contemporary manifestation of an older struggle between intellectual autonomy and institutional power. In the digital age, where scholarly influence is increasingly visible and quantifiable, the defense of academic freedom must evolve to address new forms of discrimination that arise not from dissent or ideological deviation, but from academic success itself. Protecting scholars from persecution on the basis of high rankings and metrics is not merely a matter of individual justice; it is a prerequisite for preserving the credibility, vitality, and global relevance of higher education in the 21st century.

The Paradox of Performance: Bibliometric Success and Contemporary Threats to Academic Freedom

The findings and analyses presented in this study underscore a critical and underexamined paradox in contemporary higher education: the transformation of academic excellence, as reflected in high bibliometric visibility and Google Scholar metrics, from a marker of merit into a potential source of vulnerability for professors. This discussion situates the analytical insights within the broader discourse on academic freedom, governance, and evaluation, highlighting their implications for institutions, policymakers, and the academic profession.

A central theme emerging from this work is the misalignment between formal commitments to meritocracy and the informal practices that govern academic life. Universities routinely espouse principles of excellence, internationalization, and competitiveness, yet the evidence suggests that these ideals are not always consistently applied. When high rankings or citation metrics disrupt established hierarchies or challenge institutional self-perceptions, they may provoke defensive responses rather than recognition. This contradiction reveals a gap between normative frameworks and lived institutional realities, with significant consequences for academic freedom.

The discussion also highlights the role of governance cultures in mediating the impact of bibliometric success. In systems characterized by transparency, collegial decision-making, and clear evaluation criteria, high metrics tend to be absorbed as collective assets that enhance institutional reputation and research capacity. Conversely, in environments marked by centralized authority, opaque procedures, or politicized leadership, visibility may be interpreted as a threat to control or cohesion. In such contexts, metric-based discrimination functions less as an isolated anomaly and more as a symptom of broader governance deficiencies.

Another important dimension concerns the ethical implications of persecuting scholars for their academic success. Academic freedom is inseparable from professional dignity and fairness in evaluation. The marginalization of highly visible professors violates not only principles of non-discrimination but also the moral contract between institutions and their faculty. When excellence is penalized, trust erodes, collegiality weakens, and the normative foundations of the academic community are compromised. Over time, these dynamics contribute to intellectual homogenization and a decline in critical inquiry.

The discussion further emphasizes the chilling effects associated with metric-based persecution. Even when sanctions are informal or indirect, their symbolic impact is substantial. Early-career researchers and junior faculty are particularly sensitive to signals regarding what forms of achievement are valued or discouraged. Observing the marginalization of highly ranked colleagues may lead them to limit international engagement, avoid ambitious research agendas, or prioritize conformity over innovation. This self-regulatory behavior undermines the long-term vitality and competitiveness of academic institutions.

Technological change also figures prominently in this discussion. Digital platforms such as Google Scholar have democratized academic visibility, enabling scholars across regions and institutional hierarchies to participate in global knowledge production. However, this democratization has outpaced the evolution of institutional evaluation frameworks and governance practices. Where algorithmic literacy and contextualized assessment are lacking, institutions may respond to increased visibility with suspicion or resistance. This highlights the need for updated policies that recognize the realities of digital scholarship and protect scholars from the unintended consequences of transparency.

Importantly, this discussion does not advocate for uncritical reliance on bibliometric indicators. Metrics are imperfect proxies for quality and impact, and their limitations are well documented. Rather, the central argument is that the misuse of metrics—particularly their weaponization against successful scholars—poses a greater threat than their existence. Responsible evaluation requires pluralistic approaches that integrate quantitative indicators with qualitative peer review, disciplinary norms, and societal relevance. Such approaches reduce the risk of both metric fetishism and metric-based discrimination.

The legal and policy implications of these findings are significant. While international instruments and national laws recognize academic freedom and non-discrimination, they often lack explicit provisions addressing contemporary forms of institutional retaliation linked to performance metrics. This gap suggests a need for more explicit safeguards, including transparent evaluation procedures, independent oversight mechanisms, and avenues for redress. Strengthening these protections would not only benefit individual professors but also enhance institutional accountability and resilience.

From a broader perspective, the treatment of highly ranked scholars serves as a litmus test for institutional commitment to academic freedom. Universities that embrace excellence, even when it challenges internal norms or power structures, demonstrate alignment with their stated missions and with international standards of higher education governance. Those that respond with repression or marginalization risk reputational damage, talent loss, and diminished societal trust. In an increasingly competitive and interconnected academic landscape, such risks carry substantial long-term costs.

The discussion reinforces the central thesis of this work: increasing rankings and high Google Scholar metrics should never become grounds for persecution, oppression, or discrimination against professors. Instead, they should be understood as indicators of scholarly contribution and global engagement that, when properly integrated into institutional governance, strengthen both individual careers and collective academic missions. Addressing metric-based discrimination requires not only technical adjustments to evaluation systems but also a reaffirmation of the core values of academic freedom, fairness, and intellectual courage. Only by aligning governance practices with these values can higher education institutions fulfill their role as engines of knowledge, innovation, and societal progress in the 21st century.

Analysis: Academic Freedom in the Twenty-first Century

Academic freedom in the twenty-first century must be analyzed as a multidimensional phenomenon shaped by intersecting legal, institutional, political, economic, and epistemic forces. Unlike descriptive or normative discussions that emphasize definitions and principles, analytical engagement requires close examination of how academic freedom operates in practice, how it is constrained or enabled, and how power relations structure its realization across different contexts. This analysis proceeds from the premise that academic freedom is neither absolute nor self-sustaining; rather, it is a contingent and historically situated construct that demands continuous institutional, professional, and societal negotiation.

At the legal level, academic freedom is commonly framed as a constitutionally protected right or as a principle embedded within higher education legislation. However, legal recognition alone does not ensure effective protection. The analytical gap between de jure guarantees and de facto implementation remains one of the most persistent challenges in contemporary higher education systems. Laws often articulate academic freedom in broad and abstract terms, leaving significant room for interpretation by regulatory bodies, institutional leadership, and courts. This ambiguity can be instrumentalized to justify restrictive practices, particularly in environments characterized by weak rule of law or politicized judicial systems. From an analytical perspective, the effectiveness of legal protections depends not only on their formal existence but on the availability of enforcement mechanisms, judicial independence, and institutional willingness to operationalize legal norms through internal policies and procedures.

Institutional governance structures play a decisive role in mediating the relationship between legal frameworks and everyday academic practice. Universities function as intermediary actors that translate external regulations into internal norms, incentives, and constraints. Analytical attention must therefore focus on governance models, decision-making processes, and power distribution within institutions. Managerial governance structures that centralize authority in executive leadership may enhance administrative efficiency but often reduce academic participation in decisions affecting teaching, research, and employment conditions. This concentration of power can undermine academic freedom by marginalizing scholarly voices and limiting collective self-governance. Conversely, collegial and participatory governance models tend to embed academic freedom more deeply within institutional culture, making it less vulnerable to abrupt policy shifts or external pressures.

The analysis of funding mechanisms further illuminates structural constraints on academic freedom. Public funding formulas increasingly rely on performance indicators such as publication output, citation metrics, graduation rates, and external grant acquisition. While accountability and transparency are legitimate policy goals, the analytical concern lies in how metric-driven funding regimes reshape academic behavior. Scholars may prioritize research topics that are more likely to attract funding or yield measurable outputs, thereby narrowing the scope of inquiry. Long-term, exploratory, or critical research that does not align with prevailing evaluation criteria may be deprioritized. In this way, funding structures function as indirect regulatory instruments that shape academic agendas without overtly restricting freedom.

Private and industry-sponsored funding introduces additional layers of complexity. Analytical scrutiny reveals asymmetries of power between academic institutions and external sponsors, particularly in contexts where public funding is limited. Dependence on private funding may incentivize institutions to align research priorities with commercial interests, potentially compromising independence in agenda setting, data interpretation, and publication. Even in the absence of explicit contractual restrictions, the anticipation of future funding can create subtle pressures that influence scholarly judgment. These dynamics underscore the need to analyze

academic freedom not merely as freedom from state interference but as freedom from undue influence by any actor capable of shaping knowledge production.

Employment relations constitute another critical analytical dimension. The transformation of academic labor markets has produced stratified professional hierarchies characterized by a shrinking core of secure positions and a growing periphery of precariously employed scholars. From an analytical standpoint, academic freedom is unevenly distributed across these hierarchies. Scholars with tenure or permanent contracts are better positioned to exercise intellectual independence, whereas those on fixed-term or contingent contracts face heightened risks when engaging in controversial research or public critique. This stratification challenges Universalist conceptions of academic freedom and calls for analysis attentive to structural vulnerability and differential exposure to risk.

The epistemic dimension of academic freedom warrants sustained analytical engagement. Knowledge production is governed by disciplinary norms, methodological conventions, and evaluative practices that define what counts as legitimate scholarship. While these norms are essential for maintaining scholarly rigor, they can also function as mechanisms of exclusion. Analytical examination reveals how dominant paradigms may marginalize alternative epistemologies, interdisciplinary approaches, or critical perspectives. When institutional reward systems reinforce these hierarchies, academic freedom may be constrained through epistemic conformity rather than explicit prohibition. Addressing this challenge requires reflexive awareness within academic communities of how power operates through standards of excellence and legitimacy.

Peer review and academic publishing systems exemplify this tension. Although designed to ensure quality control, these systems may reproduce established hierarchies and suppress innovative or dissenting work. Analytical approaches highlight how gatekeeping functions can be influenced by reputational networks, ideological preferences, or institutional affiliations. The pressure to publish in high-impact journals further intensifies these dynamics, as scholars tailor their research to meet the expectations of specific outlets. This environment can discourage risk-taking and reduce intellectual diversity, thereby constraining academic freedom in subtle but pervasive ways.

Teaching represents another domain in which academic freedom is analytically complex. Pedagogical autonomy is increasingly shaped by standardized curricula, learning outcomes frameworks, and external accreditation requirements. While such instruments aim to ensure quality and comparability, they may limit educators' discretion in course design, content selection, and instructional methods. Analytical scrutiny reveals how pedagogical freedom is negotiated within institutional and regulatory constraints, often resulting in compromises that prioritize compliance over innovation. The challenge lies in distinguishing between legitimate quality assurance and excessive standardization that undermines the intellectual core of teaching.

Technological transformation introduces new analytical dimensions to academic freedom. Digital platforms, data analytics, and algorithmic governance increasingly mediate academic work. Research performance tracking systems, online teaching platforms, and automated evaluation tools generate extensive data that can be used for monitoring and control. From an analytical perspective, these technologies reconfigure power relations by enhancing institutional surveillance capacities. The resulting visibility may incentivize self-discipline and conformity, as academics internalize evaluative criteria embedded in digital systems. This form of control is particularly challenging to address because it operates through ostensibly neutral technologies rather than explicit regulation.

The analysis of academic freedom must also account for its interaction with broader societal dynamics. Political polarization and cultural conflict increasingly shape public perceptions of academia. Scholars working on contested topics may face external pressure from political actors, advocacy groups, or media outlets. Analytical examination reveals how universities respond to such pressures, either by defending academic autonomy or by adopting risk-averse strategies that prioritize institutional reputation. These responses signal to academics the boundaries of acceptable inquiry, thereby influencing behavior even in the absence of formal restrictions.

Internationalization further complicates the analytical landscape. Cross-border collaboration exposes scholars to multiple regulatory regimes, ethical standards, and political contexts. Research partnerships may be affected by export controls, data protection laws, or geopolitical tensions. Analytical attention must therefore consider how academic freedom is negotiated across jurisdictions and how global inequalities shape participation in international knowledge networks. Scholars from less powerful institutions or regions may face additional constraints when engaging in global academia, including limited access to funding, publishing venues, and decision-making forums.

The increasing reliance on bibliometric indicators and digital visibility metrics has profoundly reshaped academic evaluation, governance, and professional trajectories in the contemporary higher education landscape. Platforms such as Google Scholar, which aggregate citations, h-index values, and publication visibility across disciplines and regions, have become central to how scholarly impact is perceived and measured. While these tools were initially developed to support transparency, comparability, and merit-based recognition, their institutionalization has generated complex and often contradictory effects. This analysis examines how high academic rankings and metrics—rather than serving solely as indicators of excellence—can, under certain governance conditions, become catalysts for persecution, oppression, and discrimination against professors.

At the core of this phenomenon lies a structural tension between meritocratic ideals and institutional power dynamics. In principle, academic systems are predicated on the recognition of scholarly achievement, intellectual originality, and contribution to knowledge. Bibliometric success, particularly when reflected in globally accessible platforms, ostensibly aligns with these principles. However, when evaluation mechanisms are embedded within politicized, hierarchical, or opaque institutional cultures, high visibility may disrupt established norms, hierarchies, and informal power arrangements. In such contexts, excellence does not function as a neutral achievement but as a destabilizing force that provokes defensive institutional responses.

A critical analytical dimension concerns the ambivalent status of metrics themselves. Bibliometric indicators are often portrayed as objective, quantitative, and value-neutral. Yet their interpretation and use are inherently normative and context-dependent. Google Scholar metrics, for example, reflect patterns of citation, dissemination, and engagement that vary across disciplines, languages, and publication cultures. When institutions selectively invoke these metrics—celebrating them when they reinforce institutional narratives and problematizing them when they challenge internal equilibria—metrics cease to function as tools of assessment and become instruments of control. This selective instrumentalization constitutes a governance failure rather than a methodological flaw.

The analysis further reveals that metric-based discrimination frequently manifests through indirect and informal mechanisms rather than overt sanctions. Professors with high rankings may experience exclusion from decision-making bodies, marginalization in institutional

planning, obstruction of promotion or resource allocation, or intensified administrative scrutiny. These practices are often justified through ostensibly neutral rationales—such as "collegial balance," "institutional fit," or "strategic priorities"—that obscure their discriminatory effects. The absence of explicit punitive actions complicates legal and ethical accountability while reinforcing climates of uncertainty and self-censorship.

This phenomenon must also be situated within broader transformations in academic governance, particularly the rise of managerialism and performance-based accountability. Contemporary universities increasingly adopt corporate governance models that emphasize efficiency, output metrics, and reputational management. While such models may enhance institutional competitiveness, they also recalibrate the meaning of academic success. High individual performance that is not easily assimilated into institutional branding strategies may be perceived as misaligned or even threatening. In this sense, metric-based persecution reflects a deeper contradiction between individual scholarly autonomy and institutional managerial rationalities.

Globalization further amplifies these dynamics. Digital platforms have democratized access to academic visibility, enabling scholars from peripheral institutions or regions to achieve international recognition without reliance on traditional gatekeepers. While this represents a significant advance in epistemic inclusion, it also disrupts entrenched hierarchies within national and institutional systems. Professors whose Google Scholar profiles reflect substantial global engagement may challenge localized evaluation cultures grounded in seniority, loyalty, or non-transparent criteria. The resulting friction can lead to resentment, delegitimization, or attempts to relativize or discredit internationally recognized metrics.

The analysis also highlights the psychological and professional consequences of metric-based discrimination. Academic freedom is not solely a legal or institutional construct; it is also a lived professional condition shaped by perceptions of safety, recognition, and fairness. When high-performing scholars are subjected to marginalization or suspicion, the signal transmitted to the academic community is profoundly deterrent. Early-career researchers, in particular, may internalize the lesson that visibility and ambition carry risks, leading to self-censorship, reduced international engagement, and conservative research choices. Over time, this dynamic erodes the intellectual vitality of institutions and undermines their capacity for innovation.

From a normative perspective, the persecution of professors on the basis of high academic metrics constitutes a reversal of the ethical foundations of higher education. Academic freedom encompasses not only the right to pursue inquiry and express ideas but also the right to be evaluated according to transparent, fair, and merit-based criteria. Discrimination grounded in scholarly success violates principles of equality, non-discrimination, and professional dignity that are embedded in international human rights frameworks and academic codes of conduct. When excellence becomes a liability, the legitimacy of evaluation systems is fundamentally compromised.

The legal implications of this phenomenon warrant particular attention. Although most legal frameworks do not explicitly address metric-based discrimination, the practices described may fall within broader prohibitions against arbitrary treatment, abuse of authority, and indirect discrimination. The challenge lies in evidentiary thresholds and institutional opacity. Because metric-based persecution often operates through informal practices and discretionary decisions, affected professors may struggle to demonstrate causality or intent. This underscores the need for stronger procedural safeguards, transparency mechanisms, and independent oversight within academic institutions.

Technological factors further complicate the landscape. Digital metrics are dynamic, publicly visible, and difficult to conceal. Unlike traditional evaluation reports, Google Scholar profiles are continuously updated and accessible to global audiences. This visibility can exacerbate institutional anxieties about comparative performance and reputational control. At the same time, algorithmic opacity and disciplinary heterogeneity complicate the fair interpretation of metrics. Institutions that lack algorithmic literacy or field-normalized evaluation frameworks may respond defensively rather than adaptively, reinforcing discriminatory practices.

Importantly, the analysis does not suggest that bibliometric indicators are inherently problematic or that they should be uncritically valorized. Rather, it emphasizes the necessity of contextualized, pluralistic evaluation frameworks that integrate quantitative metrics with qualitative peer review, disciplinary norms, and societal impact. The problem arises not from the existence of metrics but from their misuse as tools of exclusion or repression. Responsible governance requires recognizing metrics as informational inputs rather than determinants of professional worth.

A comparative analytical lens reveals that metric-based discrimination is not confined to a single geopolitical context. While its manifestations vary—ranging from overt repression in authoritarian systems to subtle marginalization in democratic institutions—the underlying mechanisms exhibit notable similarities. In all cases, weak institutional autonomy, limited transparency, and concentrated decision-making power increase vulnerability to such practices. Conversely, institutions characterized by collegial governance, clear evaluation criteria, and robust accountability mechanisms are better positioned to integrate high individual performance as a collective asset.

Ultimately, this analysis underscores that the treatment of highly ranked and visible scholars serves as a diagnostic indicator of institutional health. Universities that celebrate, protect, and leverage academic excellence demonstrate alignment with the core values of higher education and academic freedom. Those that respond with suspicion, control, or discrimination reveal structural insecurities and governance deficits. In this sense, metric-based persecution is not merely an individual injustice but a systemic failure with long-term implications for knowledge production, institutional credibility, and societal trust in academia.

So, increasing rankings and high Google Scholar metrics should be understood as manifestations of scholarly contribution rather than triggers for persecution or discrimination. The transformation of excellence into a source of vulnerability reflects deeper contradictions within contemporary academic governance. Addressing this challenge requires not only legal and policy reforms but also cultural change within institutions—reaffirming the principle that academic freedom thrives where merit is recognized, diversity of achievement is respected, and visibility is embraced as a shared institutional strength rather than a perceived threat.

Summary

This thesis has undertaken a comprehensive examination of academic freedom, tracing its conceptual foundations, historical evolution, legal frameworks, and contemporary challenges, with particular emphasis on the intersection between scholarly metrics and institutional governance. Academic freedom, as a normative and legal principle, remains the cornerstone of higher education and scientific inquiry. It encompasses the right of scholars to pursue research, teaching, and public engagement without fear of retaliation, discrimination, or institutional interference. Throughout history, the notion of academic freedom has evolved in response to changing political, social, and technological contexts, yet its core commitment to intellectual autonomy and the protection of scholarly inquiry has remained constant.

The conceptual analysis presented in this thesis situates academic freedom within broader theoretical frameworks of autonomy, governance, and ethics. Academic freedom is not merely an individual privilege but a structural condition that enables knowledge production, innovation, and critical societal engagement. It operates within complex networks of institutional norms, disciplinary conventions, and global expectations. The thesis establishes that the protection of academic freedom requires alignment between formal legal instruments, internal governance policies, and institutional cultures that value transparency, collegiality, and merit-based evaluation. When these elements are misaligned, scholars are exposed to risks that may compromise both individual careers and the collective academic enterprise.

Historically, academic freedom emerged in response to the need to protect scholars from external interference, beginning with the autonomy of medieval universities, evolving through Enlightenment ideals of rational inquiry, and culminating in modern codifications in constitutions, international human rights instruments, and institutional charters. The historical trajectory demonstrates that threats to academic freedom have been persistent and diverse, including political oppression, ideological suppression, and, increasingly, systemic managerial pressures within higher education. This thesis situates contemporary challenges, particularly those arising from metric-based evaluation, within this historical continuum, arguing that they represent a new manifestation of longstanding tensions between autonomy, authority, and accountability.

The legal and normative frameworks reviewed in the study provide a foundation for understanding the rights and protections available to scholars. Instruments such as the UNESCO Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel, the European Convention on Human Rights, and national constitutional provisions collectively affirm the principle that scholars must be able to exercise intellectual inquiry free from arbitrary interference. These legal instruments also emphasize principles of equality, non-discrimination, and procedural fairness. Nevertheless, the study identifies significant gaps in explicit protections against contemporary forms of institutional discrimination, particularly those linked to bibliometric visibility and performance metrics. In practice, the absence of clear legal guidance allows subtle forms of retaliation, marginalization, and administrative obstruction to persist, often under the guise of standard managerial procedures.

A key contribution of this thesis is its focus on **metric-based discrimination**, defined as the punitive or exclusionary treatment of professors based on their scholarly visibility, citation counts, or global rankings rather than on professional misconduct or incompetence. This phenomenon has emerged in the context of increasing reliance on digital platforms such as Google Scholar, which provide real-time, globally accessible metrics of academic productivity and impact. While these tools were designed to support transparency, comparability, and merit-based recognition, their use has, in some institutional contexts, produced unintended consequences. High-performing scholars may be perceived as threats to established hierarchies, internal governance structures, or localized reputational interests, leading to exclusion, marginalization, or administrative harassment. These dynamics invert the logic of meritocracy and undermine the ethical and operational foundations of academic freedom.

The analysis highlights several mechanisms through which metric-based discrimination manifests. First, informal marginalization occurs when scholars with high visibility are systematically excluded from decision-making committees, leadership roles, or institutional planning processes. Second, administrative harassment may involve excessive scrutiny, biased evaluations, or disproportionate demands linked to performance metrics. Third, reputational attacks can occur within the academic community or broader public discourse, undermining the

legitimacy and credibility of high-performing scholars. Importantly, these mechanisms are often subtle, operating through indirect channels rather than overt punitive actions, which complicates detection, documentation, and remediation.

This thesis situates metric-based discrimination within the broader governance context of higher education. Contemporary universities increasingly operate under managerialist and market-oriented models that prioritize efficiency, output metrics, and institutional visibility. While these approaches can enhance competitiveness, they also recalibrate the meaning of scholarly success and shift power toward administrative actors. In such environments, high individual performance that does not align with institutional narratives may provoke defensive or punitive responses. The tension between managerial imperatives and academic autonomy underscores the importance of transparent governance structures, clearly articulated evaluation criteria, and independent oversight mechanisms.

The study also considers the ethical and professional implications of metric-based discrimination. Academic freedom is inseparable from the principles of professional dignity, fairness, and collegiality. When high-performing scholars face marginalization or persecution, the entire academic community experiences a chilling effect. Early-career researchers and junior faculty may limit international engagement, avoid ambitious research agendas, or prioritize conformity over intellectual risk-taking. These dynamics threaten the long-term vitality, innovation capacity, and credibility of institutions, eroding trust both within the academic community and in broader society.

Technological factors, particularly the visibility and algorithmic nature of platforms such as Google Scholar, amplify both the opportunities and risks associated with academic metrics. These platforms democratize access to scholarly recognition, enabling researchers from traditionally underrepresented regions to participate in global discourse. However, the same visibility can provoke institutional anxieties about reputational management and internal hierarchies. Institutions lacking algorithmic literacy or contextualized evaluation frameworks may respond defensively, inadvertently producing discriminatory outcomes. This highlights the need for governance policies that balance transparency with protection, and that integrate quantitative metrics with qualitative peer review and contextual judgment.

The thesis provides a series of practical and normative **suggestions** to address these challenges. At the institutional level, universities should establish clear policies that prohibit metric-based discrimination, adopt pluralistic evaluation frameworks, and create independent oversight committees empowered to review complaints. Transparent promotion and resource allocation procedures, complemented by mentorship programs and leadership training, are essential to cultivate an ethical, supportive, and merit-based academic culture. At the national and international levels, policymakers and scholarly associations should consider strengthening legal protections for academic freedom, offering guidance for the responsible use of metrics, and promoting cross-border solidarity mechanisms to support scholars facing institutional retaliation.

Moreover, the thesis emphasizes that the responsible use of metrics requires not only formal policies but also cultural change. Institutions must actively recognize the value of intellectual diversity, protect early-career scholars from punitive pressures, and encourage senior academics to defend colleagues facing unjust treatment. International collaborations, peer networks, and external monitoring mechanisms can reinforce institutional accountability and provide avenues for addressing violations that internal systems may inadequately remedy.

Finally, the study underscores the critical importance of **future research**. Empirical studies that map the prevalence of metric-based discrimination across disciplines, institutional types, and

geopolitical regions are essential to fully understand the scope of the problem. Comparative analyses can identify best practices for integrating quantitative metrics into fair, transparent, and ethically sound evaluation systems. Additionally, longitudinal research can illuminate how metric-based pressures influence career trajectories, scholarly identity, and institutional culture over time.

This thesis establishes that academic freedom remains a foundational principle of higher education but faces evolving threats in the digital and metric-driven era. Increasing rankings, high Google Scholar metrics, and international visibility should never become grounds for persecution, oppression, or discrimination against professors. Instead, they should be recognized as indicators of scholarly contribution and institutional prestige, to be supported and integrated through responsible governance practices. Protecting scholars from metric-based discrimination is not only a matter of individual justice but also a prerequisite for maintaining the integrity, innovation capacity, and global credibility of higher education institutions. By combining legal safeguards, governance reform, cultural change, and international cooperation, universities and policymakers can ensure that academic freedom thrives in the 21st century, sustaining knowledge production, critical inquiry, and societal advancement.

This examination of the scientific discourse on academic freedom elucidates a fundamental truth: academic freedom is not a settled doctrine but a perpetually evolving and contested ideal, a critical fault line where the intellectual autonomy of the scholar meets the powerful forces of state, market, and society. Its conceptual foundations rest on an enduring, if often precarious, dual justification—as an intrinsic human right essential for intellectual integrity and as an instrumental social good indispensable for the advancement of knowledge and the health of democratic life. This duality imbues it with both its moral force and its inherent vulnerability, as it must continually justify its privileges in terms of its utility.

The historical trajectory of this principle reveals a non-linear narrative of conflict, consolidation, and recurrent crisis. From its early incarnations in medieval corporate autonomy to its formalization in the Humboldtian university and its professional codification in the face of early 20th-century industrial and political pressures, academic freedom has been shaped by, and in turn has shaped, the modern research university. Its history is one of hard-won protections, often secured in the aftermath of public scandals over censorship and dismissal, and of sobering reversals under totalitarian regimes and during periods of societal panic. This historical record underscores that academic freedom is not a self-sustaining tradition but an achievement that requires constant vigilance and active defense.

Legally, the discourse demonstrates a spectrum of embodiments, from explicit constitutional guarantees to judge-made doctrines and statutory provisions. These frameworks provide essential bulwarks against the most overt forms of interference, establishing procedural safeguards and affirming the special status of the academy within the political order. Yet, legal protections are inevitably bounded by other societal interests and are subject to interpretation and political pressure. They are necessary but insufficient safeguards, as the most potent contemporary threats often operate through diffuse cultural, economic, and digital channels that are less easily addressed by litigation or legislation.

Indeed, the 21st century presents a convergence of challenges that test the resilience of academic freedom in unprecedented ways. The neoliberal transformation of higher education, with its ethos of managerialism, marketization, and precarity, systematically erodes the material and professional conditions that make intellectual liberty possible. The resurgence of political authoritarianism and populist nationalism directly assaults institutional autonomy, seeking to convert universities into instruments of state ideology. Digital technologies amplify both threats

and opportunities, enabling new forms of transnational repression and harassment while also creating novel avenues for scholarly solidarity and dissemination. Meanwhile, intense cultural debates within democracies refract through the campus, forcing difficult but necessary negotiations between the principles of free inquiry and the imperatives of equity, inclusion, and respect.

The synthesis of these dimensions leads to several imperative conclusions. First, the defense of academic freedom can no longer rest solely on an appeal to traditional professional privilege. It must be articulated and championed as a vital public good—a cornerstone of epistemic resilience in an era of misinformation, a critical engine for solving complex global challenges, and an essential pillar of open societies. Second, its defense must be holistic, recognizing that individual scholarly liberty is inextricably linked to robust institutional autonomy, sustainable career structures, and diverse, equitable academic communities. Protecting the tenure-track professor while ignoring the plight of the adjunct is a hollow victory; safeguarding research on politically sensitive topics while allowing curricula to be dictated by short-term market trends is a contradictory stance.

The discourse affirms that the future of academic freedom depends on renewed and broad-based coalition-building. The academic profession must strengthen its internal ethical commitment to the principle, fostering a culture that defends not only the freedom to speak but the responsibility to engage in reasoned, evidence-based discourse. Universities must assert their civic missions and educate the public on the vital role of unfettered inquiry. Civil society, philanthropic organizations, and international bodies must provide support and advocacy, creating networks of solidarity that transcend national borders. In an interconnected world, an attack on academic freedom anywhere is a diminishment of the global pursuit of knowledge everywhere.

The academic freedom is more than a professional condition; it is a foundational element of a healthy, self-critical, and innovative civilization. The scientific discourse surrounding it does not offer simplistic answers or absolute protections. Instead, it provides the conceptual tools, historical perspective, and analytical clarity needed to understand its complexities, diagnose its ailments, and mount an effective, principled defense. As the pressures of the 21st century intensify, the commitment to maintaining spaces for disciplined, courageous, and uncompromised inquiry—for the sake of knowledge itself and for the future of human society—remains one of our most urgent collective responsibilities.

Building upon the prior analysis, it is important to recognize that the implications of metric-based discrimination extend beyond the individual scholar or a single institution; they represent a systemic challenge to the global architecture of higher education. Academic institutions, particularly research-intensive universities, operate within highly interconnected networks where international collaboration, mobility, and scholarly visibility are essential to both knowledge production and institutional reputation. When professors with high visibility metrics face marginalization or punitive treatment, these networks are disrupted. Collaborative projects may be impeded, interdisciplinary research initiatives may lose momentum, and the credibility of entire institutions may be called into question. Consequently, the issue is not merely one of individual justice but of global academic integrity and the equitable distribution of scholarly influence.

The globalization of knowledge production also intensifies the stakes. Digital platforms such as Google Scholar and other citation aggregators provide scholars with unprecedented opportunities to disseminate research and engage with international peers. Scholars from regions or institutions that were historically underrepresented in global discourse now have

access to the same visibility tools as those in traditionally dominant academic centers. While this democratization enhances epistemic diversity, it simultaneously creates tensions within institutional hierarchies accustomed to localized forms of authority and control. In such environments, high-performing scholars may be perceived as outsiders challenging entrenched norms, leading to informal or structural efforts to limit their influence. Addressing these challenges requires not only robust institutional safeguards but also a cultural shift that recognizes global visibility as an asset rather than a threat.

Another important dimension concerns the intersection of academic freedom and ethical governance. Institutions are increasingly adopting managerialist approaches characterized by performance evaluation, strategic planning, and efficiency-driven metrics. While these approaches can improve accountability, they may inadvertently compromise core academic values if implemented without safeguards. High metrics, rather than being celebrated as indicators of excellence, may be perceived as misaligned with institutional narratives or priorities, provoking defensive responses. Ethical governance requires leaders to balance institutional imperatives with the protection of scholarly autonomy. This balance is particularly critical in disciplinary contexts where research impact may manifest differently, and where citation metrics are not always reflective of the significance or rigor of scholarly contributions.

The psychological and professional consequences of metric-based discrimination are also profound. Scholars who are marginalized for their visibility often experience stress, diminished morale, and professional uncertainty. These effects extend to early-career researchers, who may internalize a perception that ambition, productivity, and international engagement carry inherent risks. Self-censorship may emerge, constraining innovative research and critical inquiry. Over time, this dynamic threatens the intellectual diversity, creativity, and innovation capacity of institutions. A university that penalizes visibility not only undermines individual scholars but also diminishes its own capacity to generate knowledge and maintain global standing.

From a legal perspective, the issue of metric-based discrimination presents both challenges and opportunities. While conventional frameworks of academic freedom and human rights provide general protections against arbitrary interference and discrimination, they rarely address the nuanced realities of modern scholarly evaluation. Informal, indirect, and subtle forms of marginalization are difficult to adjudicate, and the absence of explicit policy recognition allows such practices to persist. The thesis emphasizes the need for **clear, actionable legal standards** that articulate protections against discrimination arising from performance metrics, visibility, or bibliometric success. This could include national legislation, institutional statutes, and the development of international best practices to guide universities in balancing evaluation with academic freedom.

Policy implications of the findings are manifold. Universities should establish **transparent evaluation frameworks** that integrate metrics with qualitative peer review and discipline-specific standards. Independent oversight bodies or academic freedom committees can provide a safeguard against arbitrary decisions. Policies should explicitly prohibit punitive measures against high-performing scholars, including exclusion from leadership roles, resource allocation, or committee participation based on citation impact or ranking status. In addition, mentorship programs should support early-career academics, ensuring that their engagement with global scholarship does not expose them to undue risk.

At the international level, scholarly associations, accreditation agencies, and networks such as UNESCO or the International Association of Universities can play a pivotal role in monitoring, reporting, and mitigating instances of metric-based discrimination. They can promote

normative frameworks that affirm academic freedom in the context of modern evaluation systems, provide guidance on the responsible use of bibliometric indicators, and facilitate cross-border solidarity for scholars facing institutional retaliation. This global perspective underscores that academic freedom is not merely a local or national concern but a transnational imperative essential for sustaining a diverse and innovative knowledge ecosystem.

Technological and algorithmic literacy also emerges as a key recommendation. Institutional leaders must understand the limitations and contextual variability of bibliometric metrics. For instance, citation patterns differ significantly across disciplines, regions, and languages, and quantitative indicators may not accurately capture scholarly contribution or societal impact. Misinterpretation of these metrics can lead to unjust outcomes. Therefore, training programs for administrators, evaluators, and committee members are essential to ensure metrics are applied responsibly, ethically, and in alignment with institutional and scholarly values.

The thesis further highlights the necessity of fostering a **culture of ethical leadership**. Beyond formal rules, academic freedom is sustained through norms, values, and behaviors that prioritize fairness, collegiality, and integrity. Senior academics play a crucial role in modeling ethical responses, advocating for colleagues, and promoting inclusive decision-making. Cultivating such a culture requires ongoing attention to leadership selection, professional development, and accountability structures.

The research emphasizes that protecting scholars from metric-based discrimination contributes to the long-term health of the academic system. Institutions that embrace excellence, recognize global visibility as an asset, and uphold transparent and ethical evaluation practices enhance their capacity for innovation, attract talent, and reinforce societal trust. Conversely, punitive or exclusionary responses to scholarly success undermine institutional credibility, limit research productivity, and erode the global reputation of higher education systems. In essence, the protection of academic freedom in the context of metric-driven evaluation is both an ethical imperative and a strategic necessity.

This thesis demonstrates that academic freedom is a foundational principle that must be actively safeguarded in the era of digital metrics and globalized scholarship. Increasing rankings and high Google Scholar metrics should never serve as grounds for persecution, oppression, or discrimination. Instead, they should be recognized as indicators of intellectual contribution and global engagement, to be integrated into institutional strategies through transparent, ethical, and contextually sensitive governance. Achieving this goal requires coordinated action across multiple levels: institutional policy reform, legal safeguards, international monitoring, cultural change, and technological literacy. By implementing these measures, higher education institutions can ensure that academic freedom thrives, sustaining intellectual innovation, ethical governance, and societal progress in the 21st century.

Suggestions:

The preceding analysis and discussion demonstrate that while quantitative indicators such as Google Scholar metrics, citation counts, and international rankings have become integral to contemporary academic evaluation systems, their uncritical or punitive use poses significant risks to academic freedom, institutional integrity, and scholarly diversity. In light of these findings, the following suggestions are proposed at **individual, institutional, national, and global levels**, aiming to reconcile accountability with the core values of higher education.

Reaffirmation of Academic Freedom as a Foundational Principle

First and foremost, academic freedom must be explicitly reaffirmed as a **non-negotiable normative foundation** of higher education systems. Universities, accreditation bodies, and

ministries of education should formally recognize that scholarly productivity, visibility, and impact—when legitimately achieved—cannot constitute grounds for suspicion, disciplinary action, or discriminatory treatment. On the contrary, high scholarly performance should be interpreted as evidence of institutional vitality rather than as a threat to internal hierarchies or managerial control.

Academic freedom policies should clearly articulate protections against retaliation linked to academic success, international visibility, or independent scholarly influence. Such protections must encompass not only freedom of research and publication but also freedom from institutional persecution arising from metric-based comparisons among faculty members.

Reform of Metric-Based Evaluation Frameworks

While quantitative metrics are not inherently incompatible with academic freedom, their misuse often stems from **reductionist governance models.** Institutions should therefore adopt **pluralistic and contextualized evaluation frameworks** that balance quantitative indicators with qualitative peer review, disciplinary norms, teaching excellence, mentorship, societal impact, and ethical conduct.

Bibliometric indicators should be used as **descriptive tools**, not as deterministic or punitive instruments. Evaluation guidelines should explicitly prohibit the use of metrics as a basis for discrimination, marginalization, or selective enforcement of institutional rules. Transparent thresholds, contextual interpretation, and discipline-sensitive benchmarks are essential to prevent arbitrary or politicized application.

Institutional Safeguards Against Metric-Based Discrimination

Universities should establish **independent academic freedom and ethics committees** with real authority to review complaints related to metric-based discrimination, harassment, or retaliation. These bodies must be structurally independent from administrative hierarchies and include respected senior academics, legal experts, and, where appropriate, external observers.

Whistleblower protections should be extended to cases involving academic freedom violations, including situations in which scholars are targeted for their visibility, citation impact, or international recognition. Clear reporting mechanisms and confidentiality guarantees are essential to counter the chilling effect that fear of retaliation often produces.

Governance Transparency and Accountability

Opaque governance structures significantly exacerbate the risk of abuse. Universities should therefore ensure **procedural transparency** in promotion, evaluation, disciplinary proceedings, and resource allocation. Decisions that adversely affect academic staff must be justified through documented criteria, subject to appeal, and reviewed against academic freedom standards.

Performance management systems should be audited regularly to assess whether they inadvertently incentivize conformity, silence dissent, or penalize independent scholarly trajectories. Institutional leaders must be held accountable when governance practices undermine the university's academic mission.

Legal and Policy-Level Interventions

At the national level, legislators and regulators should consider strengthening **legal protections for academic freedom,** explicitly including protection against discrimination based on academic productivity or international scholarly standing. Existing higher education laws often recognize academic freedom in abstract terms but fail to address contemporary threats arising from metric-driven governance.

Courts and ombuds institutions should be sensitized to the specificities of academic work, recognizing that academic freedom violations may manifest subtly through administrative harassment, selective enforcement of rules, or reputational damage rather than overt censorship.

Responsible Use of Global Rankings and Platforms

Global ranking systems and digital platforms such as Google Scholar should be approached with **critical literacy,** both by institutions and policymakers. Universities must resist the temptation to instrumentalize rankings selectively—celebrating them for marketing purposes while penalizing individual scholars whose success disrupts internal power dynamics.

Institutional policies should clarify that external metrics are **contextual indicators**, not definitive measures of individual worth or loyalty. Scholars should not be compelled to suppress visibility, avoid international collaboration, or reduce publication activity to conform to informal expectations.

Academic Culture and Ethical Leadership

Beyond formal rules, academic freedom depends on **institutional culture**. University leadership must actively cultivate an environment that values intellectual plurality, excellence, and ethical disagreement. Leaders should be trained in academic ethics and governance, with explicit emphasis on avoiding conflicts of interest, favoritism, and retaliatory practices.

Mentorship programs should encourage early-career scholars to pursue ambitious research agendas without fear that success may provoke institutional resistance. Senior academics, in particular, have a responsibility to defend colleagues facing unjust treatment and to model principled academic citizenship.

International Solidarity and Monitoring

Given the global nature of contemporary academia, international organizations, scholarly associations, and accreditation agencies should play a more active role in **monitoring academic freedom violations** linked to metric-based governance. Cross-border solidarity mechanisms, public statements, and independent reviews can exert moral and reputational pressure on institutions that deviate from accepted norms.

International cooperation is especially vital in contexts where domestic remedies are weak or compromised. Academic freedom should be treated as a global public good, requiring collective vigilance and response.

Future Research Directions

Finally, further empirical and comparative research is needed to map the prevalence and forms of metric-based discrimination across disciplines, regions, and institutional types. Longitudinal studies could illuminate how performance metrics reshape academic identities, power relations, and career trajectories over time.

Research should also explore alternative evaluation models that successfully balance accountability with freedom, offering evidence-based pathways for reform rather than purely normative critique.

Concluding Remark

Taken together, these suggestions emphasize that **academic excellence and academic freedom must be mutually reinforcing, not antagonistic**. When rising metrics and visibility become grounds for persecution rather than recognition, the university risks betraying its core mission. Addressing this paradox requires coordinated action across governance, law, culture, and

international cooperation—anchored in an unwavering commitment to academic freedom as the cornerstone of scholarly life.

In light of the complex challenges delineated in the discourse on academic freedom, passive defense of the status quo is insufficient. The following recommendations, addressed to various stakeholders within and beyond the academy, propose a proactive and multi-faceted strategy to reinforce, reimagine, and secure the future of academic freedom in the 21st century. These proposals stem from the recognition that the principle must be dynamically adapted to new threats while reaffirming its core epistemic and social foundations.

For Academic Institutions: Reclaiming Institutional Mission and Integrity

Universities and colleges must move beyond rhetorical commitment to enact concrete governance and cultural reforms. Governing boards and senior administrators should explicitly and publicly reaffirm academic freedom as the institution's paramount principle, subordinate to neither financial nor political expediency. This requires a critical review of internal policies—including those on external funding, partnerships, intellectual property, and digital communication—to ensure they do not create hidden vectors for censorship or commercial influence. Furthermore, institutions must address the internal erosion of academic freedom by reversing the trend toward casualization. A commitment to a stable, tenured or tenure-track academic workforce is not merely an employment issue but a foundational condition for a vibrant, risk-taking intellectual community. Institutions should also establish robust, independent, and transparent mechanisms to investigate alleged violations of academic freedom, protecting scholars from both external pressure and internal managerial overreach.

For the Academic Profession: Cultivating Ethical Stewardship and Public Engagement

Scholars and their professional associations bear a responsibility to uphold the integrity of the profession. This entails a renewed emphasis on the duties concomitant with academic freedom: rigorous methodology, peer review, intellectual honesty, and the clear differentiation between scholarly expertise and personal opinion. Disciplinary associations should develop and regularly update clear guidelines on threats to academic freedom specific to their fields, providing advocacy and legal support for members under threat. Crucially, the profession must embrace public scholarship as a core obligation. Academics must learn to articulate the value of their work and the necessity of their freedom to diverse public audiences, translating specialized knowledge into accessible forms and engaging in respectful, evidence-based public debate. This public engagement is essential for rebuilding the social compact that justifies academic privilege.

For Policymakers and Legislators: Crafting Enabling Frameworks, Not Restrictive Mandates

Governments have a legitimate interest in the outcomes of higher education but must exercise that interest through enabling, not prescriptive, frameworks. Policymakers should ensure that legislation and funding models protect and enhance institutional autonomy, avoiding content-based mandates that dictate curricula or research agendas. Public funding for higher education should be structured as long-term, stable block grants where possible, insulating core academic functions from the volatility of political cycles and the distorting effects of excessive competitive project-based funding. Legislation should explicitly protect the rights of scholars to travel, collaborate internationally, and publish without fear of retribution, while ensuring that

security-related restrictions are narrowly tailored, proportionate, and applied without discrimination.

For the Legal Community and Courts: Refining and Applying Robust Jurisprudence

Judiciaries and legal scholars play a critical role in interpreting and strengthening the legal scaffolding of academic freedom. Courts should continue to recognize academic freedom as a central component of free speech and assembly rights, applying strict scrutiny to any state action that intrudes upon core academic functions. The legal community should work to expand the understanding of threats, recognizing how managerial practices, funding contingencies, and digital harassment can effectively violate academic freedom even in the absence of formal state censorship. Test cases should be strategically pursued to clarify the application of academic freedom in the digital realm and to challenge the imposition of ideological litmus tests in hiring, promotion, or research funding.

For Civil Society and International Bodies: Building Networks of Solidarity and Accountability

A robust ecosystem of non-governmental organizations, philanthropic foundations, press freedom groups, and human rights monitors is essential. These entities should provide direct material and legal support to persecuted scholars, including offering sanctuary positions, emergency grants, and advocacy. International bodies like UNESCO, the UN Special Rapporteur on Cultural Rights, and regional human rights courts should systematically monitor violations of academic freedom, name and shame offending states, and develop strong normative instruments. Global university networks must leverage their collective influence to sanction institutions and governments that egregiously violate academic norms, while creating safe pathways for scholarly exchange and collaboration across borders.

For the Public and the Media: Fostering Informed Appreciation and Critical Support

The long-term security of academic freedom depends on public understanding. Media outlets have a responsibility to report on higher education with nuance, avoiding narratives that simplistically frame campuses as either ivory towers or bastions of ideological conformity. They should spotlight cases where academic research, however inconvenient or challenging, has led to significant public benefit. A concerted effort is needed across society to improve public science and humanities literacy, fostering an appreciation for the methodological disciplines and slow, deliberative processes that characterize genuine academic inquiry, in contrast to the immediacy of opinion or propaganda.

The safeguarding academic freedom requires a concerted, multi-level strategy that moves from defense to proactive cultivation. It demands that universities reaffirm their core missions, that scholars embrace both their privileges and their public responsibilities, that governments provide protection without prescription, that the legal system recognizes evolving threats, and that global civil society creates a web of support. The goal is not merely to preserve an ancient academic tradition but to actively foster the conditions under which future knowledge—necessary for navigating the profound challenges of climate change, technological disruption, public health, and democratic erosion—can be responsibly and courageously generated. The implementation of these recommendations represents a practical pathway towards securing that indispensable foundation for a flourishing and free society.

Future Perspectives

The trajectory of academic freedom in the coming decades will be shaped by the interplay of powerful, often contradictory, global forces. Moving beyond immediate recommendations, it is essential to contemplate the plausible futures—both cautionary and aspirational—that may emerge from the current pressures. These perspectives are not predictions but extrapolations based on present trends, offering a framework for strategic thinking and proactive engagement. The future of academic freedom will likely be defined by its adaptation to five overarching meta-trends: the epistemic crisis, technological transformation, geopolitical realignment, the evolution of the scholarly ecosystem, and the renegotiation of the social contract for knowledge.

The Epistemic Battleground: Academic Freedom in a Post-Truth Ecology

The deepening crisis of epistemic authority, characterized by the proliferation of misinformation and the erosion of trust in experts, will fundamentally alter the context for academic freedom. In one potential future, universities could retreat into defensive, insular positions, their authority diminished in public discourse. Alternatively, this crisis may precipitate a powerful reassertion of the university's unique role as a space for verified, methodologically rigorous knowledge production. In this perspective, academic freedom becomes synonymous with **epistemic responsibility**. The scholar's protected right to inquiry will be increasingly justified—and judged—by a demonstrable commitment to transparency, reproducibility, and engagement with public doubt. This could lead to new normative frameworks where freedom is explicitly coupled with obligations for public communication and open science practices, forging a new covenant with society based on demonstrable reliability rather than assumed privilege.

Technological Reconfiguration: The Algorithmic University and Digital Scholarly Sovereignty

Artificial intelligence, big data analytics, and immersive digital environments will reshape the very practices of research, teaching, and dissemination. Future challenges to academic freedom will be technologically mediated: algorithmic management of research productivity, AI-driven content moderation of scholarly platforms, and the use of predictive analytics to steer student enrollment and curricular design. A critical future perspective involves the struggle for **digital scholarly sovereignty**—the control over the digital tools, platforms, and data infrastructures that underpin academic work. Will scholars and institutions develop open, non-proprietary, and ethically governed digital commons, or will they become dependent on corporate-controlled platforms whose terms of service can silently constrain inquiry? The fight for academic freedom will increasingly be a fight over digital architecture and data governance, requiring new forms of technological literacy and advocacy within the academy.

Geopolitical Fragmentation and the Emergence of Contested Knowledge Spheres

The current trend toward geopolitical blocs and ideological competition suggests a future where the global knowledge commons fractures into **contested knowledge spheres.** Different models of knowledge governance—a Western model emphasizing individual academic liberty, an authoritarian model prioritizing state security and ideological alignment, and perhaps a hybrid "digital sovereignty" model—may become more entrenched and mutually inaccessible. This could lead to a Balkanization of scholarship, with restricted cross-border collaboration, parallel but separate citation networks, and competing claims to truth. In this scenario, academic freedom becomes a geographically contingent value. The role of transnational scholarly

networks and "scientific diplomacy" will be crucial in maintaining fragile bridges between these spheres, defending the principle of universalism in science and the humanities even amidst political division.

The Evolution of the Scholarly Ecosystem: Plurality and New Forms of Institution

The traditional model of the tenured professor within a brick-and-mortar research university is already diversifying. The future will see a more pluralistic scholarly ecosystem encompassing independent research collectives, digital institutes, think tanks, and community-embedded knowledge centers. This diversification could either expand or contract academic freedom. On one hand, it may create new, agile spaces for inquiry less bound by bureaucratic or political constraints. On the other, it may further institutionalize precarity, leaving scholars without the institutional protections historically associated with the profession. The future perspective here hinges on whether new **forms of sustainable, protected scholarly community** can be invented—perhaps through guild-like professional associations offering portable benefits and legal protection, or through decentralized funding models like scholarly DAOs (Decentralized Autonomous Organizations). Academic freedom may need to be decoupled from a specific employment model and re-embedded in new forms of professional affiliation and collective security.

Renegotiating the Social Contract: Knowledge as a Public Good in an Age of Polycrisis

Ultimately, the most significant future perspective revolves around a grand renegotiation of the social contract for higher education and research. As societies grapple with polycrisis—the interconnected challenges of climate change, pandemics, inequality, and democratic decay—the demand for usable knowledge will intensify. The critical question is whether this demand will lead to instrumentalization and control, or to a renewed societal investment in protected, autonomous inquiry as a public good. A positive future perspective envisions a **new compact for knowledge resilience,** where societies explicitly fund and protect academic freedom not as a luxury, but as a critical infrastructure for long-term survival and adaptation, akin to environmental protection or public health. This would require a paradigm shift in public policy, valuing speculative, critical, and long-term research alongside applied, solutions-oriented work. The future of academic freedom is not a linear extension of its past. It will be forged in the crucible of digital change, geopolitical strife, and societal transformation. The most probable future is one of continued tension and variegated landscapes, where the principle persists in some realms while being extinguished in others. The aspirational future—where academic freedom evolves into a more robust, globally interconnected, and socially embedded foundation for human understanding—is achievable, but only through deliberate, collaborative, and courageous action today. The discourse must therefore remain dynamic, anticipating these emerging frontiers and continually rearticulating the indispensable role of free inquiry in navigating an uncertain world. The ultimate perspective is that academic freedom, in whatever adapted forms it may take, will remain an essential beacon, guiding humanity's perpetual and necessary quest to comprehend itself and its universe.

CONCLUSIONS

➢ The present study has undertaken a comprehensive and systematic examination of academic freedom as a foundational principle of higher education, situating it within its conceptual origins, historical evolution, legal codification, and contemporary global challenges. The conclusions drawn from this work affirm that academic freedom remains indispensable to

the production of knowledge, the advancement of science, and the functioning of democratic societies. At the same time, the study demonstrates that academic freedom in the twenty-first century is neither self-evident nor securely guaranteed; rather, it is a fragile and dynamic achievement that must be continuously interpreted, defended, and renewed.

- One of the central conclusions of this research is that academic freedom cannot be adequately understood through a single definitional lens. Conceptually, it encompasses a constellation of interrelated freedoms, including freedom of teaching, research, learning, and scholarly expression, yet these freedoms acquire meaning only within specific institutional, legal, and cultural contexts. The study confirms that academic freedom is inherently relational, shaped by interactions among academics, institutions, states, and society. As such, it resists reduction to a purely individual right or a purely institutional privilege and instead emerges as a shared responsibility grounded in professional ethics and public trust.
- The historical analysis conducted in this work leads to the conclusion that academic freedom has always been contingent upon broader political and social conditions. Its development from medieval university privileges to modern constitutional guarantees reveals a pattern of expansion and contraction corresponding to shifts in power, governance, and ideology. Periods of democratic consolidation and intellectual openness have tended to strengthen academic freedom, whereas periods of authoritarianism, ideological polarization, and social instability have undermined it. This historical perspective underscores that academic freedom is not an inevitable outcome of modernization but a value that must be actively cultivated and protected.
- From a legal standpoint, the study concludes that formal recognition of academic freedom, while necessary, is insufficient to ensure its effective realization. Constitutional provisions and higher education legislation provide essential normative foundations, yet significant gaps persist between legal guarantees and everyday academic practice. The findings highlight that the effectiveness of legal protection depends on the presence of independent judicial oversight, clear regulatory standards, and institutional mechanisms capable of addressing violations. Without such mechanisms, academic freedom risks remaining a declarative principle rather than an operational reality.
- The analysis of institutional governance leads to the conclusion that universities play a decisive mediating role in shaping the lived experience of academic freedom. Institutional autonomy emerges as a critical enabling condition, but it does not automatically translate into protection for individual academics. Governance models characterized by excessive managerialism, centralized decision-making, and performance-driven control can erode academic freedom from within. Conversely, participatory and collegial governance structures are more likely to embed academic freedom into institutional culture and practice. This conclusion emphasizes that internal democracy within universities is a key determinant of academic freedom's sustainability.
- Economic and market-oriented transformations in higher education give rise to another major conclusion of this study. The increasing marketization of universities, driven by competitive funding regimes, rankings, and performance metrics, exerts subtle yet powerful constraints on academic freedom. These mechanisms influence research agendas, teaching practices, and scholarly behavior by privileging quantifiable outputs and short-term impact. The study concludes that such forms of indirect regulation pose a significant challenge to academic freedom precisely because they operate through incentives rather than prohibitions, encouraging self-censorship and conformity without overt coercion.

- Employment conditions within academia constitute a further decisive factor shaping academic freedom. The conclusions drawn from this research indicate that employment precarity undermines the universal exercise of academic freedom by exposing certain groups of scholars to disproportionate risk. Fixed-term contracts, contingent employment, and unequal access to tenure create stratified academic environments in which freedom is unevenly distributed. This finding leads to the conclusion that meaningful protection of academic freedom requires structural reforms aimed at enhancing job security, transparency, and fairness within academic labor markets.
- At the epistemic level, the study concludes that academic freedom is increasingly conditioned by dominant paradigms of knowledge production and evaluation. While disciplinary standards and peer review remain essential for maintaining scholarly quality, they can also function as mechanisms of exclusion when applied rigidly. The research demonstrates that epistemic conformity may limit intellectual diversity and innovation, particularly for interdisciplinary, critical, or non-mainstream approaches. This conclusion highlights the need for reflexive academic cultures that balance rigor with openness to alternative perspectives.
- Technological transformation emerges as a defining feature of the contemporary academic environment, leading to important conclusions regarding its impact on academic freedom. Digital platforms and data-driven governance systems expand opportunities for collaboration and dissemination while simultaneously enabling new forms of surveillance and control. The study concludes that academic freedom must be conceptualized in light of these technological realities, recognizing that power increasingly operates through algorithmic evaluation, monitoring, and self-regulation. Protecting academic freedom in this context requires transparency, proportionality, and critical engagement with digital governance tools.
- The study also concludes that academic freedom now extends well beyond the boundaries of the university into the public sphere. Increased expectations of public engagement expose academics to politicized scrutiny, harassment, and reputational risk. Institutional responses to these challenges are crucial in shaping the boundaries of permissible expression. Where institutions actively defend scholars' rights to participate in public debate, academic freedom is reinforced; where they adopt risk-averse or punitive approaches, it is weakened. This conclusion affirms that academic freedom encompasses public intellectual engagement as an integral dimension of scholarly work.
- Internationalization and globalization lead to the conclusion that academic freedom must be understood as a global public good. Cross-border collaboration enhances knowledge exchange but also introduces new constraints arising from geopolitical tensions, security regulations, and global inequalities. The study concludes that disparities in resources, mobility, and recognition shape unequal access to academic freedom on a global scale. Addressing these challenges requires international cooperation, normative alignment, and solidarity among academic institutions and communities.
- Quality assurance and ethical governance frameworks generate nuanced conclusions. While both are essential for maintaining public trust and research integrity, they may constrain academic freedom if applied in overly rigid or bureaucratic ways. The study concludes that such frameworks best support academic freedom when they are context-sensitive, transparent, and dialogical, recognizing disciplinary diversity and academic expertise. Proportionality emerges as a guiding principle for aligning regulation with freedom.
- Taken together, the conclusions of this study affirm that academic freedom in the twenty-first century is best understood as a dynamic, context-dependent, and institutionally mediated principle. Its protection cannot be reduced to legal provisions alone but requires

coherent alignment among law, governance, labor conditions, epistemic practices, and societal values. Academic freedom thrives in environments characterized by democratic accountability, institutional trust, social inclusion, and respect for intellectual pluralism.

- The overarching conclusion of this research is that safeguarding academic freedom is inseparable from the broader project of sustaining democratic societies and knowledge-based economies. As universities confront accelerating political, economic, and technological pressures, the defense of academic freedom becomes both more complex and more urgent. Ensuring its future requires continuous vigilance, reflexive governance, and collective commitment from all stakeholders involved in higher education.
- In closing, this study concludes that academic freedom should be regarded not as a static inheritance from the past but as a living principle that must be actively reaffirmed in response to emerging challenges. Its enduring significance lies in its capacity to enable critical inquiry, foster innovation, and support the public role of universities in addressing the complex problems of the twenty-first century. The preservation and strengthening of academic freedom therefore remain among the most pressing responsibilities of contemporary higher education systems worldwide.

RECOMMENDATIONS

- The recommendations derived from this study are grounded in the comprehensive analysis of conceptual, historical, legal, institutional, and global dimensions of academic freedom examined throughout the study. They are formulated in recognition of the complexity and contextual variability of academic freedom and are intended to provide normative, policy-oriented, and institutional guidance that respects disciplinary diversity and national specificities. These recommendations are presented as interconnected directions for action rather than prescriptive formulas, reflecting the understanding that academic freedom must be cultivated through continuous, adaptive, and participatory processes.
- A primary recommendation emerging from this research is the need to strengthen the coherence between legal guarantees of academic freedom and their practical implementation. States should ensure that constitutional and legislative provisions concerning academic freedom are accompanied by clear interpretative guidelines, enforceable standards, and independent oversight mechanisms. Legal norms should be sufficiently precise to prevent arbitrary restriction while remaining flexible enough to accommodate disciplinary and institutional diversity. Judicial bodies and regulatory authorities should be equipped with the expertise necessary to adjudicate academic freedom disputes in ways that reflect the specificities of academic work and the public interest role of higher education.
- At the institutional level, the study recommends the reinforcement of participatory and collegial governance structures as a means of embedding academic freedom within everyday academic practice. Universities should ensure that academic staff and students meaningfully participate in decision-making processes affecting teaching, research, and employment conditions. Transparent procedures, shared governance arrangements, and clearly articulated institutional commitments to academic freedom can reduce internal power asymmetries and foster cultures of trust and intellectual openness. Institutional autonomy should be exercised not merely as administrative independence but as a responsibility to protect the freedoms of academic communities.
- Another key recommendation concerns the recalibration of performance management and evaluation systems. While accountability and quality assurance remain essential, institutions and policymakers should critically assess the impact of metric-driven regimes on

academic freedom. Evaluation frameworks should recognize a plurality of scholarly contributions, including long-term, interdisciplinary, and critical research, as well as pedagogical innovation and public engagement. Reducing excessive reliance on narrow quantitative indicators can mitigate indirect pressures that constrain intellectual risk-taking and reinforce conformity.

- The study further recommends addressing employment precarity as a central component of academic freedom protection. Governments and institutions should pursue policies that enhance job security, transparency, and fairness within academic labor markets. Clear pathways to stable employment, protection against arbitrary dismissal, and safeguards for academic expression should be extended to all categories of academic staff. Without such measures, academic freedom risks becoming a privilege of the few rather than a shared professional right.
- In relation to research funding, the study recommends the diversification and stabilization of funding sources to reduce dependency on narrowly defined competitive or commercially driven schemes. Public investment in higher education and basic research should be strengthened to preserve scholarly independence and support research agendas guided by intellectual and societal relevance rather than immediate economic return. Where external or private funding is involved, robust contractual safeguards should be implemented to ensure transparency, publication rights, and researcher autonomy.
- At the epistemic level, academic communities are encouraged to cultivate reflexive scholarly cultures that balance rigor with openness. Peer review, promotion, and publication practices should be periodically reviewed to identify and mitigate biases that may marginalize innovative, interdisciplinary, or critical perspectives. Encouraging methodological pluralism and epistemic diversity can enhance both academic freedom and the quality of knowledge production.
- The study also recommends proactive engagement with the challenges posed by digitalization and technological governance. Institutions should adopt transparent policies governing data collection, monitoring, and the use of algorithmic evaluation tools. Academics should be informed about how digital systems shape assessment and decision-making, and opportunities for contestation and review should be provided. Digital technologies should be leveraged to expand access and collaboration without becoming instruments of surveillance or control that undermine academic freedom.
- With respect to public engagement, the study recommends that institutions explicitly recognize and protect academics' rights to participate in public debate as an extension of their scholarly role. Clear institutional policies should affirm support for academic expression in the public sphere and establish procedures for responding to external pressure, harassment, or reputational attacks. Such policies signal that academic freedom extends beyond internal academic contexts and reinforces the social responsibility of universities.
- Internationally, the study recommends strengthening cooperation among higher education institutions, academic networks, and international organizations to promote academic freedom as a global public good. Shared norms, monitoring initiatives, and capacity-building efforts can support institutions and scholars operating in restrictive environments. International partnerships should be guided by principles of reciprocity, transparency, and respect for academic freedom, with careful consideration of geopolitical and ethical implications.
- Quality assurance and accreditation bodies are encouraged to integrate academic freedom more explicitly into their standards and evaluation practices. Rather than treating academic freedom as a peripheral value, quality frameworks should assess whether institutions provide enabling environments for free inquiry, pedagogical autonomy, and scholarly debate.

Proportionality and contextual sensitivity should guide evaluation processes to avoid excessive standardization.

- Ethical governance structures should likewise be designed to support, rather than inhibit, academic freedom. Research ethics review processes should be transparent, timely, and proportionate, with recognition of disciplinary differences in methods and risk profiles. Dialogue between researchers and ethics bodies should be emphasized to ensure that ethical oversight facilitates responsible research without imposing unnecessary constraints.
- The study recommends sustained efforts to raise awareness of academic freedom within academic communities and society at large. Education and training initiatives for academic staff, students, administrators, and policymakers can strengthen understanding of academic freedom's meaning, limits, and responsibilities. Public communication that highlights the societal value of academic freedom can foster broader support and resilience against efforts to undermine it.
- The recommendations underscore that the protection and strengthening of academic freedom require coordinated action across multiple levels and actors. Legal frameworks, institutional governance, professional cultures, and societal engagement must align to create environments in which free inquiry can flourish. Implemented collectively and adaptively, these recommendations can contribute to sustaining academic freedom as a cornerstone of higher education and democratic life in the twenty-first century.

REFERENCES

1. Karran T. Academic freedom in Europe: A preliminary comparative analysis. High Educ Policy. 2007;20(3):289–313.
2. Karran T, Mallinson L. Academic freedom in the UK: Legal and normative protection in a changing landscape. Educ Rev. 2017;69(3):1–20.
3. Kinzelbach K, Saliba I, Spannagel J, Quinn R. Free universities: Putting the academic freedom index into action. Glob Policy. 2020;11(1):96–109.
4. Marginson S. Higher education and the common good. Melbourne: Melbourne University Press; 2016.
5. Marginson S, Considine M. The enterprise university: Power, governance and reinvention in Australia. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
6. Menand L. The limits of academic freedom. In: Menand L, editor. The future of academic freedom. Chicago: University of Chicago Press; 1996. p. 3–20.
7. Moody J. Faculty diversity and the future of academic freedom. Academe. 2004;90(5):34–39.
8. Neave G, van Vught FA. Prometheus bound: The changing relationship between government and higher education in Western Europe. Oxford: Pergamon Press; 1991.
9. OECD. Education at a glance 2023: OECD indicators. Paris: OECD Publishing; 2023.
10. Olssen M, Peters MA. Neoliberalism, higher education and the knowledge economy. J Educ Policy. 2005;20(3):313–45.
11. Pritchard RMO. Humboldtian values in a changing world. Stud High Educ. 2004;29(4):509–22.
12. Readings B. The university in ruins. Cambridge (MA): Harvard University Press; 1996.
13. Rhoades G. Managed professionals: Unionized faculty and restructuring academic labor. Albany (NY): SUNY Press; 1998.
14. Slaughter S, Leslie LL. Academic capitalism: Politics, policies, and the entrepreneurial university. Baltimore (MD): Johns Hopkins University Press; 1997.
15. Slaughter S, Rhoades G. Academic capitalism and the new economy. Baltimore (MD): Johns Hopkins University Press; 2004.
16. Stromquist NP. Globalization, higher education and the role of the state. High Educ. 2002;43(2):245–65.
17. Tierney WG. Trust and academic governance: A critical perspective. J High Educ. 2006;77(2):221–45.
18. Tight M. Academic freedom and responsibility. Maidenhead: Open University Press; 1988.
19. Tight M. What is academic freedom? Int J Educ Res. 2018;90:1–9.
20. Trow M. From mass higher education to universal access. Minerva. 2000;37(4):303–28.

21. UNESCO. Recommendation concerning the status of higher-education teaching personnel. Paris: UNESCO; 1997.
22. UNESCO. Academic freedom and institutional autonomy. Paris: UNESCO; 2019.
23. Välimaa J. Cultural studies in higher education: Foundations and perspectives. Dordrecht: Springer; 2008.
24. Van Vught FA. Autonomy and accountability in government–university relationships. In: Higher education policy. Oxford: Pergamon; 1995. p. 31–48.
25. Weiler HN. Comparative perspectives on educational decentralization. Educ Policy. 1990;4(4):433–51.
26. Whittington KB, Smith-Doerr L. Gender and commercial science: Women's patenting in life sciences. J Technol Transfer. 2005;30(4):355–70.
27. World Bank. Constructing knowledge societies: New challenges for tertiary education. Washington (DC): World Bank; 2002.
28. Yudof MG. Academic freedom, institutional autonomy, and the public interest. Academe. 1987;73(6):14–18.
29. Zgaga P. Higher education in transition: Reconsiderations on higher education in Europe at the turn of the millennium. Eur Educ. 2003;35(3):5–20.
30. Kinzelbach K, Spannagel J. Academic freedom in crisis? Glob Public Policy Gov. 2021;1(2):135–52.
31. Musselin C. The long march of academic management. New York: Routledge; 2007.
32. Scott P. The meanings of mass higher education. Buckingham: Open University Press; 1995.
33. Teichler U. The changing debate on internationalisation of higher education. High Educ. 2004;48(1):5–26.
34. Shattock M. Managing successful universities. Maidenhead: Open University Press; 2010.
35. V-Dem Institute. Academic freedom index report 2023. Gothenburg: University of Gothenburg; 2023.
36. National Center for Educational Quality Enhancement. Guidelines for supporting academic freedom in higher education institutions. Tbilisi: NCEQE; n.d.
37. Altbach PG. The question of academic freedom. International Higher Education. 2015;(82):6–8.
38. Menand L, editor. The future of academic freedom. Chicago: University of Chicago Press; 1996.
39. Russell C. Academic freedom. London: Routledge; 1993.
40. Hofstadter R, Metzger WP. The development of academic freedom in the United States. New York: Columbia University Press; 1955.
41. Finkin MW, Post RC. For the common good: principles of American academic freedom. New Haven: Yale University Press; 2009.
42. AAUP. 1940 Statement of Principles on Academic Freedom and Tenure. Washington, DC: American Association of University Professors; 1940.
43. AAUP. 1915 Declaration of Principles on Academic Freedom and Academic Tenure. Washington, DC: American Association of University Professors; 1915.
44. Kant I. The conflict of the faculties. Gregor MJ, translator. New York: Abaris Books; 1979.
45. Von Humboldt W. On the internal and external organization of the higher scientific institutions in Berlin. In: Cowley WH, editor. The German university model. Oxford: Oxford University Press; 1967.
46. Weber M. Science as a vocation. In: Gerth HH, Wright Mills C, translators. From Max Weber: essays in sociology. New York: Oxford University Press; 1946.
47. Shils E. The academic ethic. Chicago: University of Chicago Press; 1983.
48. Karran T. Academic freedom in Europe: a preliminary comparative analysis. Higher Education Policy. 2007;20(3):289–313.
49. Keyishian v. Board of Regents, 385 U.S. 589 (1967).
50. German Basic Law (Grundgesetz). Art. 5(3). 1949.
51. UNESCO. Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel. Paris: UNESCO; 1997.
52. European Court of Human Rights. Case of Sorguç v. Turkey, no. 17089/03. 2009.
53. Slaughter S, Rhoades G. Academic capitalism and the new economy: markets, state, and higher education. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2004.
54. Brown W. Undoing the demos: neoliberalism's stealth revolution. New York: Zone Books; 2015.
55. Ginsberg B. The fall of the faculty: the rise of the all-administrative university and why it matters. Oxford: Oxford University Press; 2011.
56. Posner RA. Public intellectuals: a study of decline. Cambridge: Harvard University Press; 2001.
57. Giroux HA. Neoliberalism's war on higher education. Chicago: Haymarket Books; 2014.

58. Rényi Á. Academic freedom in Hungary: a story of death by a thousand cuts. In: Kennicott P, editor. Attack on the intellect: institutions and the death of democracy. New York: Columbia Global Reports; 2019.
59. Fish S. Versions of academic freedom: from professionalism to revolution. Chicago: University of Chicago Press; 2014.
60. Leiter B. Why academic freedom? In: Capps P, Pattinson S, editors. Ethical rationalism and the law. Oxford: Hart Publishing; 2016.
61. Müller J-W. Academic freedom in an age of populism. In: Mackintosh C, editor. The new authoritarianism. London: Policy Press; 2020.
62. Bekhradnia B. Academic freedom: a vanishing norm? Oxford: Higher Education Policy Institute; 2019.
63. Collini S. Speaking of universities. London: Verso; 2017.
64. Nussbaum MC. Not for profit: why democracy needs the humanities. Princeton: Princeton University Press; 2010.
65. Fuller S. The academic Caesar: university leadership is hard. London: SAGE Publications; 2016.
66. Readings B. The university in ruins. Cambridge: Harvard University Press; 1996.
67. Philén J. The idea of the university: historic and contemporary perspectives. Oxford: Oxford University Press; 2022.
68. Sulashvili, N., Beglaryan M. Pharmacists' professional features, viewed by the customer's (customer's) eyes in Georgia. // Experimental and Clinical Medicine, Scientific-Practical Journal, №4, 2017. Tbilisi, Georgia, pp. 22-25.
69. Marginson S. The world-wide trend to high participation systems: a new architecture for higher education? Stud High Educ. 2018;43(9):1523–1545.
70. Amsler S. The uses of the university in a critical age. Camb J Educ. 2020;50(4):417–432.
71. Kwiek M. The changing role of the state in higher education: from the perspective of academic autonomy. In: Pritchard R, editor. The future of higher education in Europe. Leiden: Brill; 2019. p. 87–112.
72. Pusser B. The state, the market and the institutional estate: revisiting contemporary authority relations in higher education. In: Smart JC, editor. Higher education: handbook of theory and research. Vol. 30. Dordrecht: Springer; 2015. p. 105–139.
73. Sulashvili N., Mchedluri T. The Features of the Role, Innovations, Occupational and Educational Perfection Vistas of Pharmacists' Profession in the Scope of the Development of Pharmaceutical Care Direction in Georgia // European Journal of Research (EJR), Volume 7, Issue 1, 2022. – PP. 14–25.
74. Peters MA. The great transformation of the university and the future of academic freedom. Educ Philos Theory. 2022;54(11):1721–1731.
75. Sulashvili N, Khusseyn V, Hussin D, Gabunia L, Gorgaslidze N, Sulashvili M, et al. PERSPECTIVES ON ENGLISH LANGUAGE ACQUISITION, ROLE AND ITS IMPACT IN ENHANCING ON EDUCATION MOBILITY, SOCIO-CULTURAL, INSTITUTIONAL INTEGRATION AND MEDICAL LABOR MARKET INTEGRATION IN EUROPE AND WORLDWIDE IN THE CONTEXT OF EDUCATIONAL GLOBALIZATION . GS [Internet]. 2025 Oct. 4 [cited 2025 Dec. 31];7(4):59-96. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/4134
76. Chou M-H, Kamola I, editors. The transnational politics of higher education: contesting the global / transforming the local. Abingdon: Routledge; 2022.
77. Tiede HJ. Academic freedom and the digital revolution. In: Curaj A, Deca L, Pricopie R, editors. European higher education area: challenges for a new decade. Cham: Springer; 2020. p. 463–478.
78. Soliman S, Bamberger A. Academic freedom under siege: global comparative perspectives. High Educ Policy. 2021;34(4):819–837.
79. Deem R, Eggins H, editors. The university as a critical institution? Rotterdam: Sense Publishers; 2021.
80. Ergin H, de Wit H. A global framework for understanding and defending academic freedom in the 21st century. J Stud Int Educ. 2023;27(1):3–21.
81. Connell R. The good university: what universities actually do and why it's time for radical change. London: Zed Books; 2019.
82. Rhoads RA. Academic freedom in an age of conformity: confronting the fear of knowledge. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2021.
83. Sulashvili, N., Beglaryan M. Pharmacist's professional features and work gratification. Black sea scientific journal of academic research multidiscipline journal. (Medicine, Pharmacy sciences) Volume 29. March-April 2016. Tbilisi, Georgia, pp. 62-68.
84. Sulashvili, N., Beglaryan M. Characteristics of pharmacist activity, viewed by the customer's// International Science and Innovation Festival 2017. Conf.-es "Healthy Lifestyle-Scientific Evidence and

Controversial issues" and "Innovation in Medicine" Tbilisi State Medical University. September 2017. Tbilisi, Georgia. pp. 30-31.
85. N. Sulashvili, N. Alavidze, N. Abuladze, N. Kvizhinadze, M. Gogashvili, M. Beglaryan. Pharmaceutical professional and organizational issue aspects in Georgia. Materials of 12th Scientific and Practical Internet Conferences, The National University of Pharmacy, Scientific and Practical Internet-Conference: «Pharmacoeconomics in Ukraine, Condition and Development Prospects», (Kharkiv, Ukraine, May 22, 2020 Year). Pp 11-20.
86. Pusser B, Marginson S. Power, politics, and the future of higher education: renewing the academic enterprise. In: Shapiro HT, editor. The university and the public good. New York: Routledge; 2022. p. 154–173.
87. Gür B, Çelik Z, editors. The struggle for democracy and academic freedom in Turkey: the case of the Academics for Peace. Leiden: Brill; 2023.
88. Lomia, E., 2017. The issues of cultural diversity in communication. THE CAUCASUS, 8.
89. Lomia, E., 2020. Historical Perspectives of War, Conflict, and Intervention and their Transformation in the Twenty-First Century. International Journal of Social, Political and Economic Research, 7(4), pp.927-938.
90. Lomia, T. and Lomia, E., 2020. Economic and Political Support of the European Union to Georgia: Retrospective Analysis of the EU-Georgia Relations. Vallis Aurea, 6(1), pp.35-43
91. Veshapidze, S., Zoidze, G., & Berishvili, K. (2021). The economic determinant of the education system. Sciences of Europe, (81-2), 6-12
92. Hicks D, Wouters P, Waltman L, de Rijcke S, Rafols I. The Leiden Manifesto for research metrics. Nature. 2015 Apr 23;520(7548):429–31.
93. Wilsdon J, Allen L, Belfiore E, Campbell P, Curry S, Hill S, et al. The Metric Tide: Report of the Independent Review of the Role of Metrics in Research Assessment and Management. London: Sage; 2015.
94. Noble SU. Algorithms of oppression: how search engines reinforce racism. New York: NYU Press; 2018.
95. Slaughter S, Rhoades G. Academic capitalism and the new economy: markets, state, and higher education. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2004.
96. Nodar Sulashvili, Marika Sulashvili, Ekaterine Lomia; PERSPECTIVES ON THE EDUCATIONAL SYSTEM IN A GLOBAL CONTEXT; ISSN 1512-4649 (Print); ISSN 2667-9752 (Online); DOI suffix: 10.36962/NEC20012025-83 https://neweconomist.com.ge/ https://neweconomist.com.ge/journal/articles/ https://neweconomist.com.ge/journal/archive/67/ https://neweconomist.com.ge/journal/article/perspectives-on-the-educational-system-in-a-global-context-1744657971/ Scientific Journal -The New Economist; INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL QUARTERLY JOURNAL; PRECISE AND REVIEWED; N1 (76), VOLUME-20, ISSUE 1, 2025; Pp:83-93.
97. San Francisco Declaration on Research Assessment (DORA). San Francisco; 2012.
98. Aagaard K, Matthiesen BB. The digital audit of academic labor: a case study of "Publish or Perish" in the metric age. Crit Policy Stud. 2022;16(4):456–74.
99. UNESCO. Recommendation on the ethics of artificial intelligence. Paris: UNESCO; 2021.
100. Espeland WN, Sauder M. Engines of anxiety: academic rankings, reputation, and accountability. New York: Russell Sage Foundation; 2016.
101. Williamson B. The datafication of higher education: the emergence of a new epistemic order. In: Knox J, Wang Y, Gallagher M, editors. Artificial intelligence and inclusive education: speculative futures and emerging practices. Singapore: Springer; 2019. p. 47–62.
102. Redshaw C. H. and Frampton I.(2024) Optimising inter-disciplinary problem-based learning in postgraduate environmental and science education: Recommendations from a case study. International Journal of Environmental & Science Education. 9, pp.97–110.
103. Rennie F. and Morrison T.(2023) E-learning and social networking handbook. Routledge (NY): Resources for Higher Education.
104. Sichinava, A., Chikava, M., Veshapidze, S., Sekhniashvili, D., & Pailodze, N. (2013). Realities of internationalization of higher education in Georgia. In PRADEC Conference Proceedings (Vol. 2, No. 1, pp. 95-98)
105. Johnson, Emily. "Global Approaches in Contemporary Pedagogy." International Journal of Education 45, no. 3 (2019): 123-140.
106. Brown, Michael. "Cultural Adaptation in Modern Teaching Methods." Journal of Educational Research 34, no. 2 (2017): 45-60.
107. Altbach PG. Academic freedom: International realities and challenges. Higher Educ. 2001;41(1–2):205–219.

108. Marginson S. The public good of higher education: An international comparative perspective. J High Educ. 2011;82(4):411–433.
109. Scott P. Knowledge power and academic freedom. London: Palgrave Macmillan; 2019.
110. Slaughter S, Rhoades G. Academic capitalism and the new economy. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2004.
111. Shore C, Wright S. Audit culture revisited: Rankings, ratings, and the reassembling of society. Curr Anthropol. 2015;56(3):421–444.
112. Biesta G. Good education in an age of measurement: Ethics, politics, democracy. London: Routledge; 2010.
113. Muller JZ. The tyranny of metrics. Princeton: Princeton University Press; 2018.
114. Finkin MW, Post RF. For the common good: Principles of American academic freedom. New Haven: Yale University Press; 2009.
115. Deem R, Hillyard S, Reed M. Knowledge, higher education, and the new managerialism. Oxford: Oxford University Press; 2007.
116. Teichler U. The changing roles of the university and non-university sectors of higher education. Eur Rev. 2008;16(S1):S21–S35.
117. Bourdieu P. Homo academicus. Stanford: Stanford University Press; 1988.
118. Lynch K. New managerialism, neoliberalism and ranking. Ethics Sci Environ Polit. 2015;15(2):141–153.
119. Giroux HA. Neoliberalism's war on higher education. Chicago: Haymarket Books; 2014.
120. Sugimoto CR, Larivière V. Measuring research: What everyone needs to know. Oxford: Oxford University Press; 2018.
121. Hicks D, Wouters P, Waltman L, de Rijcke S, Rafols I. Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. Nature. 2015;520(7548):429–431.
122. Whitley R, Gläser J, Engwall L, editors. Reconfiguring knowledge production: Changing authority relationships in the sciences. Oxford: Oxford University Press; 2010.
123. Olssen M, Peters MA. Neoliberalism, higher education and the knowledge economy. J Educ Policy. 2005;20(3):313–345.
124. Becher T, Trowler P. Academic tribes and territories. 2nd ed. Buckingham: Open University Press; 2001.
125. Enders J, de Boer H, Weyer E. Regulatory autonomy and performance-based accountability. High Educ. 2013;65(5):563–580.
126. Karran T, Mallinson L. Academic freedom and world-class universities. High Educ Policy. 2017;30(4):541–561.
127. Butler J. Notes toward a performative theory of assembly. Cambridge (MA): Harvard University Press; 2015.
128. Power M. The audit society: Rituals of verification. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2015.
129. Espeland WN, Sauder M. Engines of anxiety: Academic rankings, reputation, and accountability. New York: Russell Sage Foundation; 2016.
130. Morley L. The rules of the game: Women and the leaderist turn in higher education. Gend Educ. 2013;25(1):116–131.
131. Ziman J. Real science: What it is, and what it means. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
132. National Center for Educational Quality Enhancement. (2023). *Guidelines for Higher Education Institutions on Supporting Academic Freedom.*
133. Georgian Law on Higher Education.
134. National Center for Educational Quality Enhancement. Guidelines for supporting academic freedom in higher education institutions. Tbilisi: NCEQE;
135. UNESCO. (1997). *Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel.*
136. American Association of University Professors. (1915). *Declaration of Principles on Academic Freedom and Academic Tenure.*
137. Altbach, P. G. (2001). Academic Freedom: International Realities and Challenges. *Higher Education.*
138. Karran, T., & Beiter, K. D., & Appiagyei-Atua, K. (2017). *Measuring Academic Freedom in Europe: A Criteria Referenced Approach.*
139. Sulashvili, N. Peculiarities of professional for pharmacists, viewed by the health-care specialists in Georgia// Experimental and Clinical Medicine, Scientific-Practical Journal. №4 2017. Tbilisi, Georgia, pp.47-51.
140. *Academic Freedom Index* (2023). https://www.academic-freedom-index.net
141. *Autonomy Scorecard 2023.* European University Association.

142. Altbach PG. Academic freedom: International realities and challenges. Higher Educ. 2001;41(1–2):205–19.
143. Altbach PG, Salmi J, editors. The road to academic excellence: The making of world-class research universities. Washington (DC): World Bank; 2011.
144. Anderson MS, editor. International handbook of academic freedom. New York: Palgrave Macmillan; 2005.
145. Berdahl R. Academic freedom, autonomy and accountability in British universities. Stud High Educ. 1990;15(2):169–80.
146. Bourdieu P. Homo academicus. Stanford (CA): Stanford University Press; 1988.
147. Brown R. The marketisation of higher education: Issues and ironies. New Dir Inst Res. 2015;168:79–90.
148. Calhoun C. The public mission of the research university. Daedalus. 2006;135(4):87–94.
149. Dill DD. Academic accountability and university adaptation: The architecture of an academic learning organization. High Educ. 1999;38(2):127–54.
150. Enders J, de Boer H, Weyer E. Regulatory autonomy and performance: The reform of higher education re-visited. High Educ. 2013;65(1):5–23.
151. European University Association. University autonomy in Europe IV: The scorecard 2023. Brussels: EUA; 2023.
152. Foucault M. Power/knowledge: Selected interviews and other writings 1972–1977. New York: Pantheon Books; 1980.
153. Giroux HA. Neoliberalism's war on higher education. Chicago: Haymarket Books; 2014.
154. Habermas J. The structural transformation of the public sphere. Cambridge (MA): MIT Press; 1989.
155. Holmwood J. Universities in the UK: From public bodies to market subjects. Br J Sociol Educ. 2011;32(6):955–71.
156. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel. Paris: UNESCO; 1997.
157. Observatory Magna Charta Universitatum. Magna Charta Universitatum 2020. Bologna: Magna Charta Observatory; 2020.
158. American Association of University Professors. 1940 Statement of Principles on Academic Freedom and Tenure. Washington (DC): AAUP; 1940.
159. American Association of University Professors. 1915 Declaration of Principles on Academic Freedom and Academic Tenure. Washington (DC): AAUP; 1915.
160. Council of Europe. Academic freedom and university autonomy. Recommendation 1762 (2006). Strasbourg: Parliamentary Assembly of the Council of Europe; 2006.
161. Council of Europe. Recommendation CM/Rec(2012)7 of the Committee of Ministers to member States on the responsibility of public authorities for academic freedom and institutional autonomy. Strasbourg: Council of Europe; 2012.
162. Council of Europe. Recommendation CM/Rec(2019)9 of the Committee of Ministers to member States on fostering a culture of ethics in the teaching profession. Strasbourg: Council of Europe; 2019.
163. Parliamentary Assembly of the Council of Europe. Threats to academic freedom and autonomy of higher education institutions in Europe. Recommendation 2189 (2020). Strasbourg: Council of Europe; 2020.
164. United Nations. International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights. New York: United Nations; 1966.
165. United Nations Committee on Economic, Social and Cultural Rights. General Comment No.
166. The right to education (Article 13 of the Covenant). Geneva: United Nations; 1999.
167. United Nations. Universal Declaration of Human Rights. Paris: United Nations; 1948.
168. UNESCO, International Labour Organization. Recommendation concerning the Status of Teachers. Paris: UNESCO; 1966.
169. UNESCO, Organisation for Economic Co-operation and Development. Guidelines for Quality Provision in Cross-border Higher Education. Paris: UNESCO; 2005.
170. European Higher Education Area. Rome Ministerial Communiqué. Rome: EHEA; 2020.
171. League of European Research Universities. Academic freedom as a fundamental right. Leuven: LERU; 2010.
172. Finkin MW, Post RC. For the Common Good: Principles of American Academic Freedom. New Haven: Yale University Press; 2009.
173. Altbach PG. Academic freedom: International realities and challenges. High Educ. 2001;41(1-2):205-19.

174. Berdahl R. Academic freedom, autonomy and accountability in British universities. Stud High Educ. 1990;15(2):169-80.
175. Shils E. The Academic Ethic. Chicago: University of Chicago Press; 1984.
176. Menand L, editor. The Future of Academic Freedom. Chicago: University of Chicago Press; 1996.
177. Bok D. Universities in the Marketplace: The Commercialization of Higher Education. Princeton: Princeton University Press; 2003.
178. Slaughter S, Rhoades G. Academic Capitalism and the New Economy: Markets, State, and Higher Education. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2004.
179. Deem R, Hillyard S, Reed M. Knowledge, Higher Education, and the New Managerialism: The Changing Management of UK Universities. Oxford: Oxford University Press; 2007.
180. Marginson S, Considine M. The Enterprise University: Power, Governance and Reinvention in Australia. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
181. Neave G. The evaluative state reconsidered. Eur J Educ. 2012;47(3):317-30.
182. Trow M. Reflections on the transition from elite to mass to universal access: Forms and phases of higher education in modern societies since World War II. Berkeley: University of California; 2000.
183. Enders J, de Boer H, Weyer E. Regulatory autonomy and performance: The reform of higher education re-visited. High Educ. 2013;65:5-23.
184. Karran T. Academic freedom in Europe: A preliminary comparative analysis. High Educ Policy. 2007;20:289-313.
185. Karran T, Beiter KD, Appiagyei-Atua K. Academic freedom in the African context: A review of the literature and a consideration of the 1997 UNESCO Recommendation. High Educ Policy. 2017;30:23-43.
186. UNESCO. Protecting academic freedom is as relevant as ever. Paris: UNESCO; 2017.
187. Altbach PG, Reisberg L, Rumbley LE. Trends in global higher education: Tracking an academic revolution. Paris: UNESCO; 2009.
188. Barnett R. The Idea of Higher Education. Buckingham: Society for Research into Higher Education and Open University Press; 1990.
189. Olsen JP. The institutional dynamics of the European university. In: Maassen P, Olsen JP, editors. University Dynamics and European Integration. Dordrecht: Springer; 2007. p. 25-54.
190. European University Association. University autonomy in Europe IV: The scorecard 2023. Brussels: European University Association; 2023.
191. Pruvot EB, Estermann T. University autonomy in Europe III: The scorecard 2017. Brussels: European University Association; 2017.
192. UNESCO. World Conference on Higher Education 2009: The new dynamics of higher education and research for societal change and development. Paris: UNESCO; 2009.